

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# Gestión de Accesos mediante RFID



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Carlos Ochoa Enériz

Carlos Ruiz Zamarreño

Pamplona, 30 de Junio de 2015

# Resumen

El presente proyecto comprende el desarrollo e implementación de un sistema de control de acceso mediante tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia), que permitirá gestionar de una manera eficiente el acceso a una determinada área. Para el desarrollo del mismo, se diseñará y fabricará una tarjeta de circuito impreso (PCB), donde se incluirán los elementos hardware que se consideren necesarios.

El sistema de gobierno se basará en un microcontrolador que se comunica con el lector RFID para la obtención de las identificaciones de los tags. Mediante un registro en la memoria del mismo se almacenarán dichas identificaciones, a las que posteriormente se les puede permitir el acceso a través de la activación del relé que abre la cerradura magnética.

## Palabras Clave

- Acceso
- Control
- Gestión
- Lector
- Microcontrolador
- PCB
- RFID
- Tag
- UART

# Abstract

This project comprises the development and implementation of an access control system using RFID technology (Radio Frequency Identification), which will allow you to manage efficiently the access to a particular area. For the development of the same, a PCB (Printed Circuit Board) will be designed and manufactured, which will include the hardware elements that are deemed necessary.

The system will be based on a microcontroller that communicates with the RFID reader in order to obtain the tag's identifications. A register in the memory of the microcontroller will store these identifications, allowing access to the users by activating the relay that opens the magnetic lock.

## Keywords

- Access
- Control
- Management
- Reader
- Microcontroller
- PCB
- RFID
- Tag
- UART

# Índice

1. Introducción .....	1
1.1. Descripción del Proyecto .....	2
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Justificación del Proyecto .....	5
2. Tecnologías de Autoidentificación .....	6
2.1. Comparación de Tecnologías de Autoidentificación .....	6
2.1.1. Sistemas Biométricos .....	7
2.1.2. Tarjetas Magnéticas .....	8
2.1.3. Tarjetas Chip .....	8
2.1.4. Código de Barras .....	9
2.1.5. Memorias de Contacto .....	11
2.1.6. RFID (Identificación por Radiofrecuencia) .....	11
2.2. Comparación entre Tecnologías de RFID y Código de Barras .....	14
2.3. Ventajas de la Identificación por Radiofrecuencia (RFID) .....	16
3. Identificación por Radiofrecuencia (RFID) .....	18
3.1. Tecnología RFID .....	18
3.1.1. Lector RFID .....	19
3.1.2. Tag RFID .....	21
3.2. Funcionamiento RFID .....	26
3.2.1. Frecuencias .....	29
3.2.2. Estándares .....	32
3.2.3. Clasificación de los Sistemas RFID .....	33
4. Diseño del Prototipo .....	34
4.1. Hardware del Prototipo .....	35
4.1.1. Microcontrolador .....	36
4.1.2. Lector ID-12LA .....	40
4.1.3. Pulsadores .....	43
4.1.4. LCD .....	44
4.1.5. Zumbador .....	47

4.1.6. Cerradura Magnética .....	48
4.1.7. Fuente de Alimentación.....	49
4.1.8. Circuito de Programación .....	51
4.2. Software del Prototipo .....	52
4.2.1. Acceso al Menú de Configuración.....	54
4.2.2. Menú de Configuración.....	56
4.2.3. Gestión de Acceso .....	63
5. Fabricación del Prototipo .....	66
5.1. Diseño del PCB.....	66
5.1.1. Componentes Fijos.....	69
5.1.2. Componentes Libres .....	71
5.1.3. Pistas y Vías.....	74
5.1.4. Planos .....	75
5.1.5. Diseño Final.....	76
5.2. Montaje y Soldadura .....	79
6. Presupuesto.....	80
7. Conclusión .....	83
8. Bibliografía .....	85
9. Anexo .....	89

# 1. Introducción

La tecnología RFID ha sufrido una gran evolución en los últimos años debido fundamentalmente a la disminución de sus precios y a las ventajas que presenta frente a otras tecnologías de autoidentificación.

En un futuro esta tecnología pretende cambiar la vida de las personas debido a sus diversas aplicaciones. Esto generará grandes beneficios a las empresas, al estar inmersa en las cadenas de producción y distribución de las mismas, como por ejemplo: verificación de la calidad de los productos, elaboración de inventarios automáticos, conocimiento del momento de abastecimiento y cobro automático de las compras.

Los beneficios que ofrece este tipo de tecnología también incluyen las actividades cotidianas. Por ejemplo, el desarrollo de frigoríficos con tecnología RFID permitirá además de identificar el momento en que un producto está a punto de caducar, el informar al usuario en caso de requerir su abastecimiento. Las lavadoras, por ejemplo, serán capaces de identificar el tipo de lavado que corresponde a cada tipo de ropa.

Por todo ello, las aplicaciones de esta tecnología son realmente prometedoras, aunque todavía éstas se encuentren en proceso de evolución.

## 1.1. Descripción del Proyecto

El presente proyecto comprende el desarrollo e implementación de un sistema de control de acceso mediante tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia), que permitirá gestionar de una manera eficiente el acceso a una determinada área en una empresa.

Para el desarrollo del mismo, se diseñará y fabricará una tarjeta de circuito impreso (PCB), donde se incluirán los elementos hardware que se consideren necesarios.

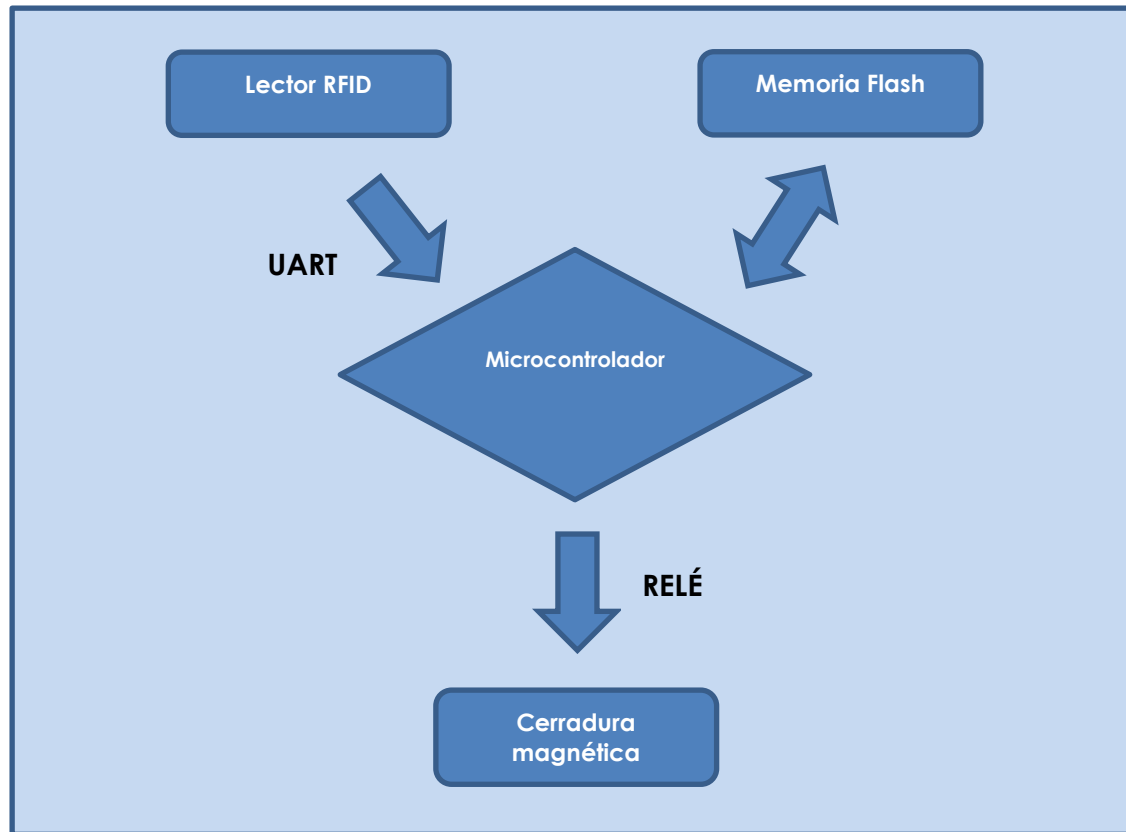
El sistema de gobierno se basará en un microcontrolador que permitirá la comunicación serie (UART) con el lector RFID para la obtención de los códigos de identificación de los tags. Las identificaciones a las que se les autorice el acceso serán almacenadas en la memoria Flash del microcontrolador y en función de si éstas se encuentran o no en este registro, se activará o no un relé que permitirá abrir una cerradura magnética.

Así mismo, se empleará una pantalla LCD y unos pulsadores que permitirán al administrador navegar por un menú y así agregar o eliminar tags al sistema, además de un zumbador para avisos sonoros.

Como reto cabría destacar que es un proyecto que debe conjugar diversas materias o disciplinas propias de la ingeniería como:

- i) **Comunicaciones:** será necesaria la transmisión de la información de las tarjetas obtenida por el lector RFID.
- ii) **Microcontroladores y programación:** incluye la elección y programación de los dispositivos que tratarán la información obtenida por el lector RFID.

- iii) **Potencia:** comprende la alimentación de los circuitos y la transmisión a los actuadores.



**Fig. 1.** Diagrama de bloques del proyecto



## 1.2. Objetivos

El objetivo del presente proyecto es desarrollar un sistema de control de acceso mediante RFID con las funcionalidades anteriormente descritas aplicando los conceptos aprendidos en el grado.

Para alcanzar tal fin, deberán conseguirse otros objetivos entre los que destacan:

- i) Análisis de necesidades.
- ii) Elección adecuada de los componentes.
- iii) Transmisión de los datos mediante la comunicación serie.
- iv) Tratamiento de la información obtenida.
- v) Programación del microcontrolador.
- vi) Transmisión del control y la potencia.
- vii) Realización de ensayos.
- viii) Generación de conclusiones.

Además del desarrollo teórico en sí, el objetivo es también enfrentarnos a un proyecto real aprendiendo a resolver los problemas que puedan aparecer.

## 1.3. Justificación del Proyecto

El constante avance tecnológico en los últimos años ha generado grandes mejoras en el estudio de sistemas inalámbricos, los cuales actualmente son uno de los campos con mayor desarrollo, por ejemplo en telefonía, sistemas de control, .... Como consecuencia, la tecnología RFID destaca entre el resto como solución a las necesidades que genera la industria y las personas.

Esta tecnología tiene una gran cantidad de aplicaciones, como por ejemplo el control de acceso de usuarios a determinadas áreas, la identificación de productos e incluso de personas mediante un lector y tarjetas denominadas tags, debido fundamentalmente a su gran versatilidad y confiabilidad así como de su nivel de seguridad.

Es por esta razón que se decide elaborar el presente proyecto, siendo el último fin el de mejorar la gestión de accesos a un área mediante el empleo de la tecnología RFID, y que en un futuro cercano tendrá un gran desarrollo en diversas áreas de trabajo.

## 2. Tecnologías de Autoidentificación

Desde hace años existe la posibilidad del emplear diversas tecnologías para la identificación de productos e incluso personas. Entre estas tecnologías siempre ha destacado por encima del resto el código de barras, el cual ha logrado introducirse en la mayor parte las cadenas de distribución y sistemas de control de acceso.

No obstante, en los últimos años se ha producido un gran incremento en el empleo de nuevas tecnologías como el RFID. El motivo principal de ello, son todas las ventajas que ésta ofrece frente al resto de tecnologías, además de sus precios relativamente bajos [1].

### 2.1. Comparación de Tecnologías de Autoidentificación

Dentro del ámbito de la tecnología de autoidentificación, aplicado a sistemas de control de acceso, se pueden encontrar las siguientes tecnologías:

1. Sistemas Biométricos
2. Tarjetas Magnéticas
3. Tarjetas Chip
4. Código de Barras
5. Memorias de Contacto
6. RFID

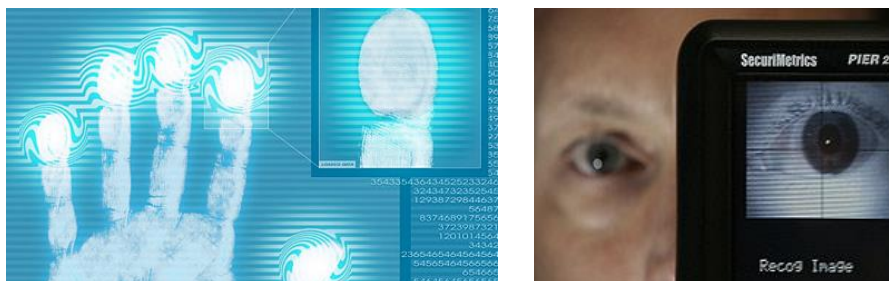
## 2.1.1. Sistemas Biométricos

Estos sistemas de identificación se fundamentan en el análisis de características fisiológicas y/o de comportamiento que posee una persona, eliminando por completo el uso de tarjetas electrónicas o magnéticas. Algunas de las principales técnicas biométricas que existen son:

- i) Reconocimiento de iris
- ii) Reflexión retina
- iii) Geometría de la mano
- iv) Geometría facial
- v) Termografía mano, facial
- vi) Huellas dactilares
- vii) Patrón de la voz

La identificación biométrica tiene como principal ventaja su elevado grado de seguridad, ya que la identificación es únicamente de características físicas (únicas e intransferibles) de los usuarios, siendo por lo tanto difícil la suplantación de la identidad.

Entre las desventajas que ofrece este tipo de sistema se encuentran su alto coste de implementación (debido principalmente a los lectores que se emplean) y la lenta velocidad de lectura si éste se compara con el resto [2].

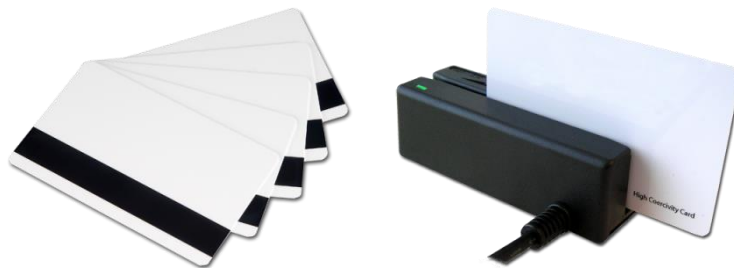


**Fig. 2.** Sistemas biométricos

## 2.1.2. Tarjetas Magnéticas

Estos sistemas se fundamentan en la lectura de una banda magnética. Emplean señales electromagnéticas para registrar y codificar la información en una banda que posteriormente puede ser leída para su identificación. Una de las aplicaciones donde más se emplea este tipo de sistemas es en las tarjetas de crédito.

Entre sus ventajas destacan la posibilidad de proporcionar una identificación única al usuario, el coste relativamente bajo y el hecho de que éstas no son fácilmente falsificables. Sin embargo, la principal desventaja que presentan es que su uso continuo produce un deterioro físico como consecuencia de la fricción en su lectura. Además si alguna tarjeta se aproxima a una fuente electromagnética lo suficientemente grande, se puede modificar la información que contiene [2].



**Fig. 3.** Tarjetas magnéticas

## 2.1.3. Tarjetas Chip

Las tarjetas inteligentes o tarjetas chip son tarjetas convencionales de plástico de dimensiones similares a las tarjetas de crédito que llevan un chip incorporado en su interior.

La elevada seguridad de esas tarjetas se basa fundamentalmente en los elementos de seguridad físicos del chip y los mecanismos del sistema operativo utilizados como, por ejemplo, memorias resistentes a campos magnéticos y electromagnéticos, borrado de la memoria por radiación ultravioleta si se intenta abrir un módulo para explorarlo, etc.

Estas tarjetas poco a poco están reemplazando a las tradicionales tarjetas de banda magnética debido a su facilidad para modificar su contenido, el bajo coste de fabricación y la elevada seguridad que presentan [3].



**Fig. 4.** Tarjetas chip

## 2.1.4. Código de Barras

El código de barras se inventó hace más de 30 años y durante este periodo, ha sido la tecnología más empleada para la identificación de productos. Este tipo de identificación se realiza mediante la codificación de datos en una imagen formada por diferentes combinaciones de barras y espacios, la cual posteriormente puede ser leída por equipos de lectura óptica.

Este tipo de sistemas de identificación posee las mismas ventajas que las tarjetas magnéticas pero sin ser necesario el contacto físico entre la tarjeta y el lector, aunque sí debe de existir una línea de visión entre ellos. El código de barras tiene un coste de fabricación, sin embargo este tipo de tarjetas son

fácilmente falsificables siendo esta gran desventaja suficiente como para descartar su uso para los sistema de control de acceso.

Se han desarrollado alrededor de 270 simbologías diferentes y aproximadamente 50 de éstas se utilizan ampliamente en la actualidad. Estas simbologías se encuentran dentro de alguna de las siguientes categorías:

- i) **Lineal:** Consiste en líneas verticales, de diferentes anchuras, con espacios blancos que las separan. El máximo número de caracteres que pueden ser codificados son 50.
- ii) **Dos dimensiones:** Este tipo de simbología tiene mayor capacidad de almacenamiento siendo el máximo número de caracteres que pueden ser codificados de 3,750.
- iii) **Tres dimensiones (Bumpy):** Esta simbología emplea el relieve de las barras para su lectura, es decir, no depende del contraste entre barras oscuras y espacios. La principal ventaja de estos códigos es que pueden ser utilizados en productos con superficie rugosa [1].



**Fig. 5.** Códigos de barras

### 2.1.5. Memorias de Contacto

Los botones de memoria de contacto son un tipo de tecnología de autoidentificación que requiere un contacto físico entre el lector y el botón para poder leer los datos de la memoria. Su implementación ha sido muy escasa si se compara con el reducido coste de su fabricación y los avances que ha sufrido esta tecnología.

Una de las principales desventajas de las memorias de contacto es que los tres sistemas más empleados de esta tecnología en la actualidad son propietarios, por lo que si cualquiera de estos es interrumpido será complicado encontrar un sustituto.

Sin embargo, entre las ventajas que presentan este tipo de dispositivos se encuentran las de permitir múltiples lecturas y escrituras, así como de ser muy resistentes, pudiendo ser empleados en entornos hostiles y con vibraciones [1].



**Fig. 6.** Memoria de contacto

### 2.1.6. RFID (Identificación por Radiofrecuencia)

La tecnología de radiofrecuencia se desarrolló en la década de los 40, como medio para la identificación de los aviones aliados y enemigos durante la Segunda Guerra Mundial. A lo largo de los años esta tecnología sufrió un constante desarrollo, logrando así ser empleada en numerosos sectores de la industria.

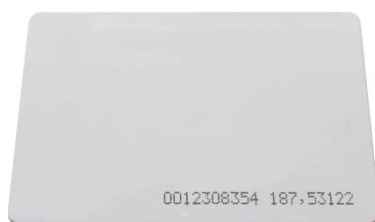


En la actualidad, la tecnología RFID se emplea fundamentalmente en el campo de la seguridad, como es el caso de los cruces fronterizos, el control del equipaje en los aeropuertos, la industria del automóvil, los procesos de automatización y seguimiento, así como el uso como dispositivo antirrobo.

La Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) es un método electrónico que consiste en la asignación de un código a productos, personas o animales con el objetivo de emplear esta información para su identificación. Esta tecnología permite la identificación a distancia sin necesidad de contacto o línea de visión, por lo que se trata de una tecnología muy versátil y de fácil uso.

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia constan generalmente de dos componentes:

1. El "**transponder**" o pequeña etiqueta electrónica (tag) que contiene un pequeño microprocesador y una antena. Este tag posee un identificador único pudiendo ser asignado a una persona o producto.
2. El "**lector**" que permite obtener el identificador del "transponder" [1].



**Fig. 7.** Tarjeta RFID

Una vez detalladas las características de cada sistema, se resume lo anterior en la siguiente tabla:

	Sistemas Biométricos	Tarjetas Magnéticas	Código de Barras	Memorias de Contacto	RFID Pasivo	RFID Activo
<b>Modificación de los datos</b>	No modificable	Modificable	No modificable	Modificable	Modificable	Modificable
<b>Seguridad de los datos</b>	Alta	Media	Mínima	Alta	Variable (baja a alta)	Alta
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	Sin Capacidad de almacenamiento	Hasta 128 bytes	Lineales (8-30 caracteres), 2D hasta 7200 caracteres	Hasta 8 MB	Hasta 64 KB	Hasta 8 MB
<b>Distancia de lectura</b>	Depende del biométrico	Requiere contacto	Línea de visión y hasta 1.5 m	Requiere contacto	No requiere línea de visión ni contacto. Hasta 10 m	No requiere línea de visión ni contacto. Hasta 100 m y mayores
<b>Ciclo de vida</b>	Indefinido	Medio	Corto	Largo	Indefinido	Depende de la batería (3 a 5 años)
<b>Estándares</b>	No estándar	Estables	Estables	Propietarios, no estándar	Evolucionando hacia estándar	Propietario y en evolución hacia estándar
<b>Precio</b>	Alto	Medio-Bajo	Bajo	Alto	Medio (menos de 0.45€ por tag)	Muy alto (9€ a 90€ por tag)

**Tabla 1.** Tecnologías de autoidentificación

## 2.2. Comparación entre Tecnologías de RFID y Código de Barras

RFID es una tecnología de autoidentificación que ha tenido gran auge en los últimos años, por lo que se espera que éste acabe reemplazando por completo al código de barras, aunque de momento no sustituirá a ninguna de las otras tecnologías existentes, ya que cada una de ellas tiene sus propias ventajas y desventajas.

La tecnología RFID presenta varias ventajas frente a la tecnología de código de barras por lo que se ha convertido en su principal sucesora. Por ejemplo, un tag RFID no necesita línea de visión directa con el lector para poder ser identificado y, dependiendo de la tecnología que se emplee, la distancia entre el tag y el lector puede variar desde unos pocos centímetros hasta cientos de metros.

Otra de las ventajas que ofrece la tecnología RFID es la identificación única de los productos, es decir, productos iguales pueden ser diferenciados mediante la clave contenida en su tag RFID, a diferencia del código de barras en donde productos iguales poseen la misma clave. Además, un tag RFID es mucho más difícil de falsificar que un código de barras, el cual puede ser fácilmente copiado.

Los tags RFID pueden poseer la capacidad de lectura/escritura al tener una memoria que puede ser modificada miles de veces durante su ciclo de vida. Sin embargo, un código de barras no puede ser modificado una vez que éste se ha impreso, siendo por lo tanto una tecnología de únicamente lectura.

Otra desventaja que presenta la identificación mediante códigos de barras es la capacidad de lectura simultánea, siendo en estos sistemas única. Esto implica que un solo producto podrá ser identificado al mismo tiempo,

mientras que en la tecnología RFID se podrán realizar múltiples lecturas simultáneas.

Y por último, un tag RFID tiene una mayor durabilidad y un menor desgaste que un código de barras, el cual al ser usado sufre desgaste y tachaduras siendo imposible su posterior lectura.

La única ventaja que se podría destacar del código de barras es su reducido precio, por lo que existe la creencia de que éste no será completamente reemplazado por la tecnología RFID sino que más bien ambos convivirán [1].

## 2.3. Ventajas de la Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

A continuación se describen las principales ventajas que presenta la tecnología RFID.

- i) **Seguridad:** Por su diseño este tipo de tags no puede duplicarse fácilmente. Cada tag posee un código único impidiendo que usuarios distintos puedan tener la misma identificación. Esta diferencia es de gran importancia cuando se compara este tipo de tecnología con los sistemas de banda magnética o código de barras, donde la falsificación de tarjetas es frecuente. Por lo tanto, este tipo de tecnología es perfecta para lugares en los que se requiere máxima seguridad.
- ii) **No requiere línea de visión:** La tecnología RFID es la única que no requiere que las tarjetas sean pasadas por una ranura y por lo tanto no es necesaria una línea de visión entre el lector y el tag. Esto hace que esta tecnología de identificación sea la más práctica de todas, lo que garantiza el éxito de su implementación al ser fácilmente aceptada por la mayor parte de los usuarios.
- iii) **Lecturas simultáneas:** Se puede ahorrar tiempo en la lectura de los tags ya que este tipo de tecnología permite que múltiples dispositivos puedan ser leídos simultáneamente.
- iv) **Lectores sin mantenimiento:** Los lectores empleados no necesitan ningún mantenimiento al no contar estos con partes móviles, lo que garantiza un correcto funcionamiento del mismo. Esto también permite que este tipo de sistemas se pueden instalar en el exterior sin que las inclemencias del tiempo los dañen.

- v) **Tags sin desgaste:** Los tags no tienen ningún contacto con el lector, por lo que éstos no se desgastan en ningún momento y su vida útil es elevada. Esto permite la reutilización de los mismos de manera prácticamente indefinida.
- vi) **Reescribible:** Algunos tipos de tags RFID, pueden ser leídos y escritos en múltiples ocasiones.
- vii) **Áreas de aplicación:** Las áreas de aplicación de esta tecnología son muy amplias.
- viii) **Otras Características:** Los tags RFID pueden llegar a desempeñar otras funciones como la medición de la humedad o temperatura, además de sus funciones habituales que permiten almacenar y transmitir datos [1].

### 3. Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

Como se mencionó anteriormente, la tecnología RFID no es nueva, sino que se ha desarrollado a lo largo de los años hasta llegar a popularizarse gracias a la reducción de sus costes.

A finales de los 90, la tecnología RFID presentó el reto de reducir el tamaño de los dispositivos y del coste de los mismos bajo la dirección de EAN Internacional y la UCC.

Su mayor auge tuvo lugar cuando Wal-Mart requirió a sus 100 principales proveedores que incorporaran etiquetas RFID en sus productos [1] [4].

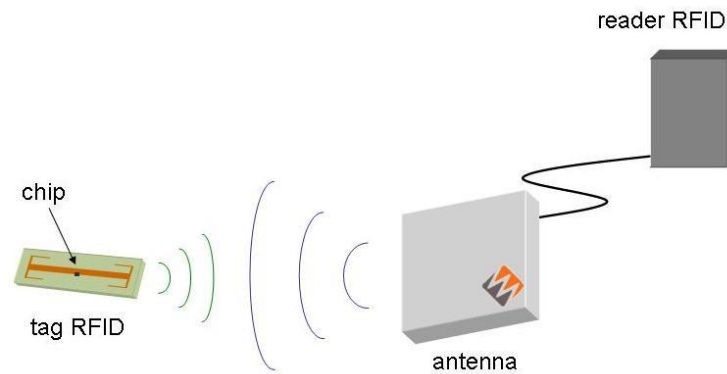
#### 3.1. Tecnología RFID

El principio de funcionamiento de la tecnología RFID consiste en un transponder y un lector de RFID. En la comunicación entre ambos, el lector interroga al transponder utilizando una determinada frecuencia y éste le contesta con la información que contiene. El lector recoge esta información y la envía a una unidad de control para su procesamiento.

Existen 2 componentes básicos en un sistema de RFID:

1. El **lector**, el cual puede ser de lectura o lectura/escritura, está compuesto por una antena, un módulo de radiofrecuencia y un módulo electrónico de control.

2. El **transponder o tag** de RFID que consiste en un pequeño circuito integrado con antena, el cual es capaz de transmitir un código de identificación único hacia el lector. En algunas ocasiones éste puede incluir una batería [1] [5].



**Fig. 8.** Sistema RFID

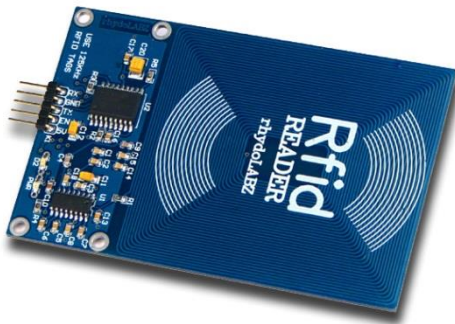
### 3.1.1. Lector **R** RFID

Los lectores son los dispositivos encargados de enviar una señal de radiofrecuencia que permitirá detectar los tags que se encuentren en un determinado rango.

El funcionamiento del lector RFID es sencillo, éste produce una señal que circula hacia una antena, la cual emite la misma señal en el espacio a una frecuencia determinada para que otros dispositivos lo escuchen. Esta señal de radiofrecuencia es la fuente de energía usada para activar y alimentar los tags RFID pasivos.

Además de generar la señal que se transmite a través de la antena, también escucha las respuestas de los tags.





**Fig. 9.** Lector RFID

El lector es el componente principal de un sistema de RFID y tiene los siguientes componentes:

- i) **Transmisor:** El transmisor envía el ciclo de reloj y la potencia empelada como fuente de energía por los tags RFID pasivos a través de su antena hacia los dispositivos que se encuentren dentro de su rango.
- ii) **Receptor:** Este componente recibe las señales analógicas provenientes del tag enviando estos datos al microprocesador para su conversión en señal digital.
- iii) **Antena:** La antena se encuentra conectada directamente al transmisor y al receptor y su función es la de emitir las señales de radiofrecuencia necesarias para la obtención de la identificación, así como de recibir ésta información.
- iv) **Microprocesador:** Este componente es el encargado de la implementación del protocolo de lectura empleado para la comunicación con los tags. Se encarga de decodificar y realizar la verificación que permita detectar errores en las señales recibidas.

- v) **Memoria:** Este componente se emplea para almacenar información como la configuración del propio lector o por ejemplo una lista de las últimas lecturas realizadas.
- vi) **Interfaz de Comunicación:** Esta interfaz es la herramienta que proporciona las instrucciones para que se produzca la comunicación entre el lector y los tags.
- vii) **Fuente de Alimentación:** Este componente provee de alimentación al resto de componentes del lector anteriormente descritos [1].

Los lectores se pueden separar en dos tipos en función de su fabricación:

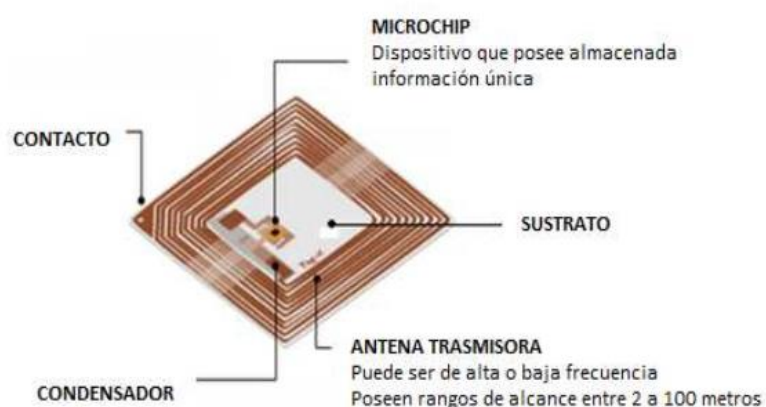
- i) **Lectores con bobina simple:** En este tipo de lector la misma bobina se emplea para transmitir tanto la energía como la información. Como consecuencia son más simples y más baratos, pero de menor alcance.
- ii) **Lectores interrogadores con dos bobinas:** En este tipo de lector se emplea una bobina para la transmisión de energía y otra para los datos. Tienen un precio más elevado que los anteriores pero mejores prestaciones [5].

### 3.1.2. Tag RFID

Un transponder o tag RFID es el dispositivo destinado a almacenar y transmitir la información única que contiene hacia un lector mediante señales de radiofrecuencia.

Un tag está compuesto en su interior fundamentalmente por un microchip y un circuito impreso a modo de antena, los cuales son capaces de emitir una trama con la identificación que poseen. En el caso de los tags activos y semi-activos, éstos incorporan una batería para su alimentación.

En la siguiente figura se puede apreciar los principales componentes de la estructura interna de un tag pasivo, el cual no incorpora batería para su alimentación.



**Fig. 10.** Estructura interna de un tag RFID

El transponder o tag RFID dispone por lo tanto de los siguientes componentes:

- i) **Microchip:** Este componente almacena la información de la identificación del mismo y ejecuta las instrucciones específicas para poder responder al lector. El diseño del chip determina el tipo de memoria, si es de únicamente lectura o lectura/escritura.
- ii) **Antena:** La antena tiene como función recibir las señales de radiofrecuencia y responder posteriormente mediante el mismo medio con la información contenida en éste. La energía necesaria para la activación del microchip se obtiene de la propia señal recibida del lector. El tamaño de la antena está relacionado con el rango de lectura del tag, es decir una antena

de mayor tamaño puede recibir más energía y por lo tanto transmitir con mayor potencia.

- iii) **Condensador:** Este componente almacena la energía recibida con el objetivo de servir de fuente de alimentación al mismo, siendo fundamental en los tags pasivos.
- iv) **Sustrato:** Es el material que mantiene a los componentes anteriores juntos y protegidos [5] [6].

Se puede realizar una clasificación de estos tags su fuente de energía (activo, semi-activo y pasivo) y según su memoria (solo de lectura, escritura una sola vez y varias lecturas, lectura/escritura programables, etc.). También puede realizarse una clasificación de los mismos según los estándares que cumplen, su ciclo de vida, su tamaño, su distancia de lectura, su forma, su frecuencia de trabajo etc.

Entre todas las clasificaciones anteriormente mencionadas cabe destacar las dos primeras:

### 1. Según su fuente de alimentación:

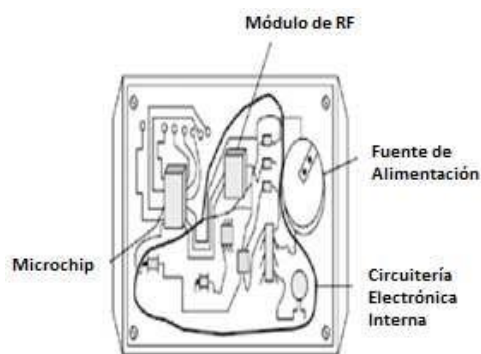
La primera clasificación, además de ser la más usual que se hace de los tags, es en función de la forma que tienen de obtener la energía para generar su señal de respuesta.

- i) **Tags pasivos:** Estos tags no tienen fuente de alimentación y será su antena la que reciba la energía a través de la señal de radiofrecuencia enviada por el lector y la almacene en el condensador eléctrico. El tag utiliza esta energía para alimentar su circuito lógico y responder al lector con la información contenida en su interior.

La distancia de uso de estos dispositivos está comprendida entre los 10 cm y hasta unos pocos metros según la frecuencia de funcionamiento, el diseño y tamaño de la antena. Al carecer de autonomía propia éstos pueden ser muy pequeños.

- ii) **Tags activos:** Los tags activos emplean fuentes de alimentación integradas, como las baterías. Esto permite que exista una mayor distancia entre lector y tag, 20 a 100 m. Como consecuencia de lo anterior, este tipo de dispositivos tienen un mayor coste de fabricación y tamaño.
- iii) **Tags semi-activos:** Estos tags disponen de una fuente de alimentación integrada, la cual suministra energía al tag para su funcionamiento. Sin embargo, para la transmisión de los datos los tags semi-activos emplean la energía recibida desde el lector.

La ventaja de este tipo tags es que pueden ser leídos a una mayor distancia al no necesitar la señal del lector para alimentarse [5].



**Fig. 11.** Estructura interna de un tag activo

## 2. Según su tipo de memoria:

La clasificación de los tags también puede realizarse en base al tipo de memoria que poseen.

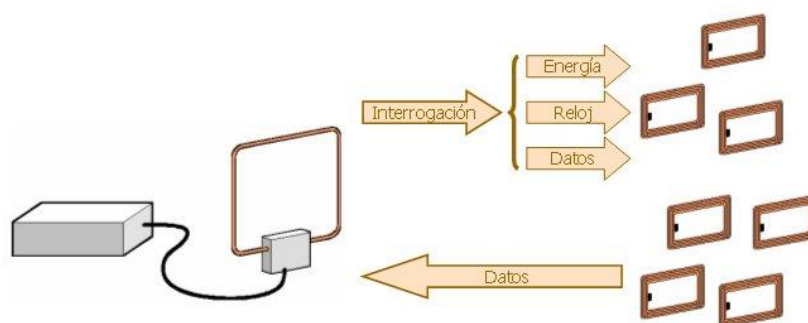
- i) **Tags Read Only:** Éstos solamente pueden ser leídos y el identificador único viene fijado de fábrica con una longitud de caracteres determinada.
- ii) **Tags WORM:** Los tags WORM (Write Once Read Many) permiten la escritura por parte del usuario una sola vez, pero pueden ser leídos tantas veces como se quiera.
- iii) **Tags lectura/escritura programables:** Estos tags pueden ser escritos en varias ocasiones por el usuario, normalmente se pueden llegar a programar hasta 100,000 veces. Además, cabe destacar que el tipo de lectores que se empleen deben ser capaces de escribir sobre los tags [5].

## 3.2. Funcionamiento RFID

Un sistema RFID está basado en la comunicación bidireccional entre un lector (interrogador) y un tag, mediante señales de radiofrecuencia. Durante su funcionamiento, el lector y el tag están en constante comunicación siempre y cuando éste se encuentre en el rango de distancia requerido.

Cuando el tag ingresa en el área de cobertura del sistema, el lector envía señales de radiofrecuencia hacia el tag, el cual las recibe a través de su antena y envía su información hacia el lector. El lector al recibir la señal de identificación, la decodifica y procesa con el objetivo de extraer la información.

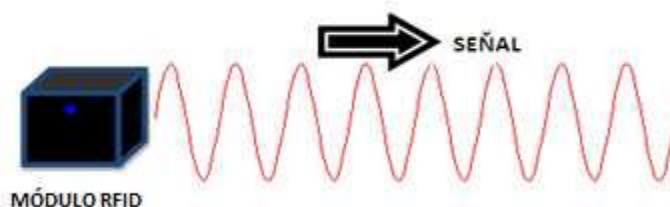
Tanto el lector como el tag envían señales de radiofrecuencia cuya frecuencia de operación debe ser la misma, con el fin de establecer una comunicación permanente entre ambos. Las frecuencias más empleadas van desde 125 KHz hasta la banda ISM de 2,4 GHz.



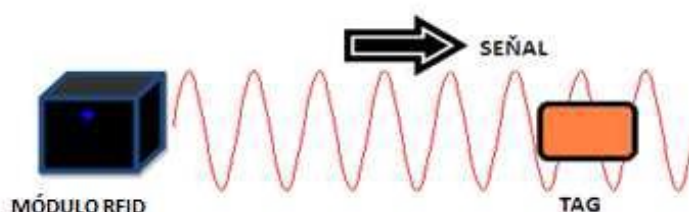
**Fig. 12.** Funcionamiento de un sistema RFID

En primer lugar, el lector RFID mediante su antena transmisora emite una interrogación, es decir una señal de radiofrecuencia de baja potencia que permite la creación de un campo electromagnético. Este campo electromagnético funciona como una señal "portadora" de energía del lector hacia el tag.

En las siguientes figuras se puede apreciar gráficamente cómo es la emisión de la señal de baja potencia realizada por el lector, y la introducción posteriormente en el campo electromagnético del tag.

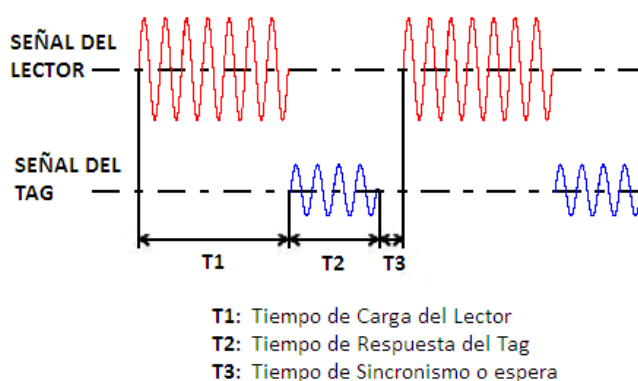


**Fig. 13.** Emisión de la señal de baja potencia del lector



**Fig. 14.** Introducción del tag en el campo magnético

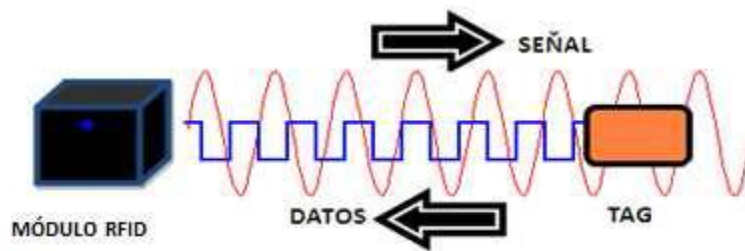
Como se ha descrito anteriormente, el tag está compuesto por una antena, también en forma de bobina, y un circuito integrado. Este circuito integrado necesita una pequeña cantidad de energía para poder funcionar, por lo que la antena contenida en éste es la que funciona como medio para obtener esta energía que se encuentra presente en el campo electromagnético producido por el lector RFID.



**Fig. 15.** Comunicación entre un lector y un tag RFID



En este proceso de comunicación el tag se introduce en el campo electromagnético que emite el lector, por lo que en la antena del tag se induce energía eléctrica, la cual es almacenada para poder permitir que el circuito integrado del tag funcione y los datos contenidos en su memoria sean transmitidos. Para ello lo que hace es modular la señal en torno a los datos que desea transmitir, siendo las más frecuentes ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) y PSK (Phase Shift Keying). En la siguiente figura se muestra como sería esta respuesta por parte del tag.



**Fig. 16.** Respuesta del tag

La señal electromagnética emitida por el tag es adquirida por la antena receptora del lector RFID y convertida a una señal eléctrica. Este lector tiene un sistema de recepción diseñado para detectar y procesar esta señal débil que proviene del tag.

Una vez que los datos del tag han sido demodulados por el lector, su módulo digital comprueba que éstos han sido recibidos correctamente. Así, el lector utiliza la información redundante del código transmitido por el tag para realizar el proceso de validación (CRC). Cuando éste comprueba que no existen errores y certifica la información recibida, los datos están listos para posteriormente ser procesados o enviados a la unidad de control a la que esté conectado el lector [5] [8].

### 3.2.1. Frecuencias

Los sistemas basados en tecnología RFID operan en distintas bandas de frecuencia del espectro electromagnético y como las ondas de radiofrecuencia tienen comportamientos distintos (velocidad de transmisión, alcance, etc.) según su frecuencia, es fundamental que la elección de la frecuencia de operación sea de manera adecuada en función de su aplicación.

Abreviatura	Nombre	Frecuencia	Longitud de Onda
ELF	Extremely Low Frequency	3-30 Hz	100000-10000 Km
SLF	Super Low Frequency	30-300 Hz	10000-1000 Km
ULF	Ultra Low Frequency	300-3000 Hz	1000-100 Km
VLF	Very Low Frequency	3-30 KHz	100-10 Km
LF	Low Frequency	30-300 KHz	10-1 Km
MF	Medium Frequency	300-3000 KHz	1000-100 m
HF	High Frequency	3-30 MHz	100-10 m
VHF	Very High Frequency	30-300 MHz	10-1 m
UHF	Ultra High Frequency	300-3000 MHz	100-10 cm
SHF	Super High Frequency	3-30 GHz	10-1 cm
EHF	Extremely High Frequency	30-300 GHz	10-1 mm
		300-3000 GHz	1-0,1 mm

**Tabla 2.** Espectro electromagnético

A continuación se describen las principales frecuencias de operación y sus características.

#### 1. **LF (Low Frequency):**

La tecnología RFID en esta banda se ubica en las frecuencias inferiores a 135 KHz, concretamente en 125 KHz y 134 KHz. El coste de fabricación de los

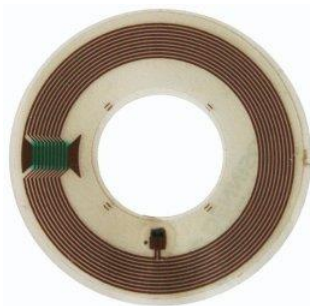
tags que operan en esta banda de frecuencia es relativamente alto debido fundamentalmente a que es necesaria una antena de cobre. Sin embargo, este tipo de tags es menos susceptible a degradaciones con metales y líquidos.



**Fig. 17.** Tag RFID LF

## **2. HF (High Frequency):**

En esta banda se utiliza una única frecuencia, la de 13,56 MHz. En este caso el coste de fabricación de los tags es menor que los anteriores. Además, si se compara a éstos con los de frecuencias más elevadas, la velocidad de transmisión de datos es relativamente baja. Esta banda de frecuencia es recomendada sobre todo para aplicaciones que no requieren lectura múltiple y cuya distancia de lectura es pequeña.



**Fig. 18.** Tag RFID HF

### 3. UHF (Ultra High Frequency):

La tecnología RFID en esa banda se ubica en las frecuencias de operación de 433 MHz y en la banda de 860 a 960 MHz. Una gran ventaja que presenta este tipo de tags es el bajo coste de fabricación para grandes volúmenes si se compara con los de menor frecuencia, además de ser más pequeños que éstos. Ofrecen un rango de lectura mayor que los anteriores y son utilizados en aplicaciones que requieran lectura múltiple de tags.



**Fig. 19.** Tag RFID UHF

### 4. Microondas:

La frecuencia de operación se encuentra dentro de la banda ISM (Industrial Scientific and Medical), en 2,45 GHz y 5,8 GHz. Las características de éstos son similares a la que presentan los tags de la banda de frecuencia UHF pero con velocidades de transmisión superiores [5] [9].



**Fig. 20.** Tag RFID 2,4 GHz

	LF 125 KHz	HF 13,56 MHz	UHF 860-960 MHz	Microondas 2,45/5,8 GHz
Rango de lectura de tags pasivos	<0,5 m	1 m	30 m	30 m
Fuente de alimentación del tag	Pasivo, acoplamiento magnético	Generalmente pasivo, acoplamiento inductivo y capacitivo	Tags activos con baterías o pasivos con acoplamiento capacitivo	Tags activos con baterías o pasivos con acoplamiento capacitivo
Velocidad de transmisión	Lenta	Mediana	Mediana	Rápida
Funcionamiento en ambientes hostiles	Alta eficiencia	Mediana eficiencia	Mediana eficiencia	Baja eficiencia
Tamaño del tag pasivo	Mayor	Intermedio	Intermedio	Menor

**Tabla 3.** Parámetros RFID en cada banda de frecuencias

### 3.2.2. Estándares

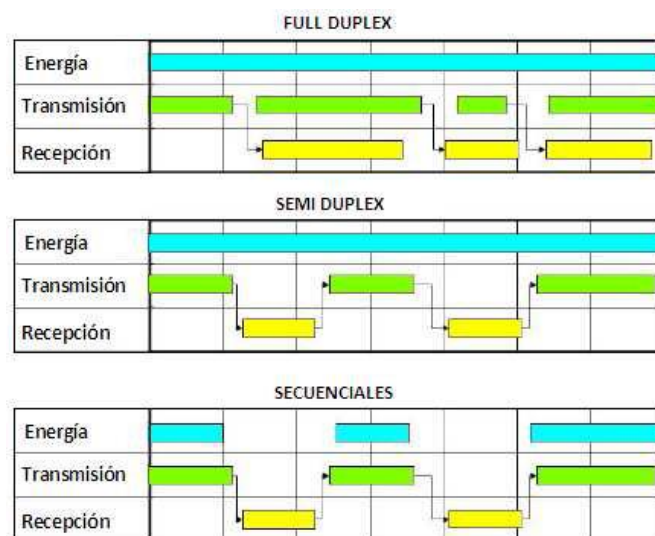
Los estándares o normalizaciones nos permiten garantizar el uso de la tecnología y su durabilidad, debido a que disponen de soluciones conjuntas con una arquitectura abierta para que ésta pueda ser implementada por diferentes fabricantes.

Por un lado está la normativa ISO, y por otro Auto-ID Centre (conocida en la actualidad como EPCglobal, de EPC, Electronic Product Code). Ambas comparten el objetivo de conseguir tags de bajo coste que operen en la banda de frecuencia UHF [5] [6].

### 3.2.3. Clasificación de los Sistemas RFID

Normalmente se suele clasificar a los sistemas basados en tecnología RFID en función de los parámetros de sus elementos, como por ejemplo de acuerdo al tipo de alimentación de los tags, a la frecuencia de operación del lector y los tags, e incluso de acuerdo a la memoria utilizada. Dado a que ésto ya se abordó anteriormente se realizará una clasificación en función del tipo de comunicación o transmisión de datos entre lector y tag.

1. **Sistemas Half Duplex (HDX):** En estos sistemas la transmisión de información entre lector y tag, se alterna con la comunicación entre tag y lector.
2. **Sistemas Full Duplex (FDX):** La transmisión de datos en estos sistemas entre el lector y los tags es simultánea, es decir, poseen mecanismos que permiten que esta transmisión de información se realice mediante una fracción de frecuencia del lector, en subarmónicos o no armónicos.
3. **Sistemas Secuenciales (SEQ):** La característica principal de estos sistemas es que al alimentar el tag de forma intermitente (pulsos) la transmisión de la información se produce en esos periodos [5].



**Fig. 21.** Comunicación en los sistemas FDX, HDX y SEQ

## 4. Diseño del Prototipo

Como se mencionó al principio de este documento, el proyecto comprende el desarrollo e implementación de un sistema de control de acceso mediante tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia).

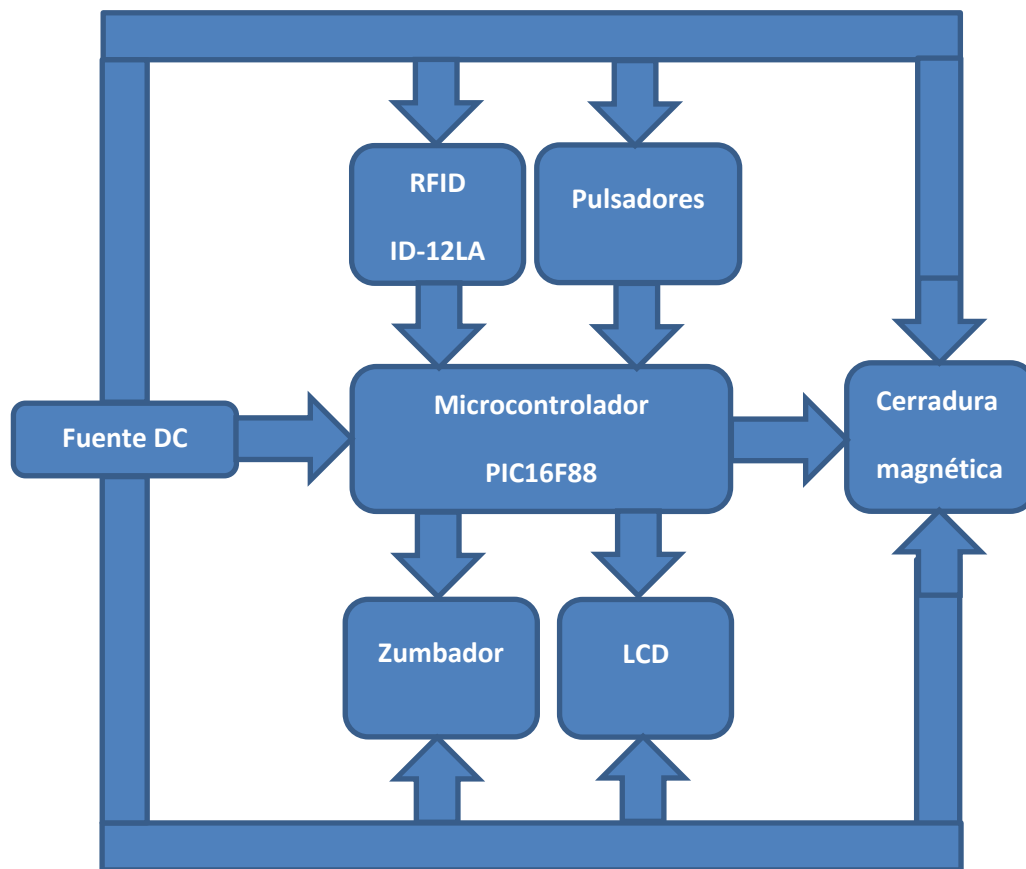
El prototipo propuesto constará de un lector RFID con el fin de obtener una lectura de un tag al intentar acceder a un área determinada. El sistema de gobierno se basará en un microcontrolador de Micrchip (PIC16F88) que permitirá la comunicación serie (UART) con el lector para la obtención de los códigos de identificación de los tags.

Para poder acceder a la configuración del sistema se deberá ingresar un tag maestro con la finalidad de proteger el acceso a ésta, y una vez dentro se podrán realizar distintas funciones como añadir y eliminar nuevos tags al registro, así como cambiar el tag maestro que nos permitirá acceder a este menú.

Las identificaciones a las que se les autorice el acceso serán almacenadas en la memoria Flash del microcontrolador y en función de si éstas se encuentran o no en este registro, la cerradura magnética se activará por medio de un relé.

Así mismo, se empleará una pantalla LCD que nos indicará el estado de funcionamiento del prototipo en todo momento, además de un zumbador para los avisos sonoros correspondientes.

Para el desarrollo del mismo, se diseñará y fabricará una tarjeta de circuito impreso (PCB), donde se incluirán los elementos hardware anteriormente descritos.



**Fig. 22.** Diagrama de bloques del prototipo

## 4.1. Hardware del Prototipo

La determinación de los componentes necesarios para la realización del prototipo es de gran importancia ya que proporciona un amplio conocimiento de cómo se realiza el proceso de adquisición de datos, además de que esto determinará el presupuesto necesario para su implementación.



### 4.1.1. Microcontrolador

Para determinar el mejor microcontrolador se debe tener en cuenta el número de entradas/salidas, aplicaciones y capacidad de memoria requerida por el prototipo.

En este caso debe ser un microcontrolador que posea módulo de comunicaciones AUSART, dos entradas digitales para los dos pulsadores, seis salidas digitales para manejar la pantalla LCD, una salida digital para el zumbador y una salida digital para el relé que activará la cerradura magnética.

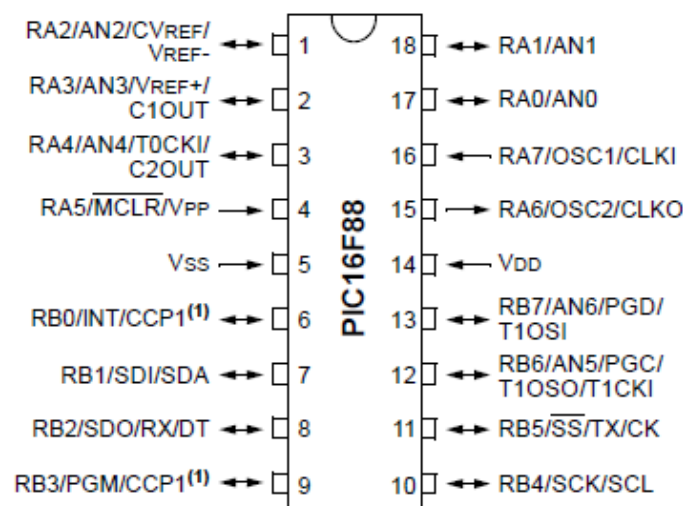
Con estas características descritas se define la necesidad de utilizar un microcontrolador de 18 pines, siendo el PIC16F88 de Microchip el indicado para el prototipo.

El PIC16F88 tiene 7 Kbytes de memoria Flash de programa que será suficiente para toda la programación y el almacenamiento del registro de las identificaciones. Éste dispone de oscilador interno con frecuencias entre 31 KHz y 8 MHz, además del módulo de comunicaciones AUSART. En la siguiente tabla se describen las características generales del PIC16F88.

Program Memory		Data Memory		I/O Pins	10-bit A/D (ch)
Flash (bytes)	Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)		
7168	4096	368	256	16	1

CCP (PWM)	Comparators	Timers 8/16-bit	AUSART	I <sup>2</sup> C
1	2	2/1	Si	Si

**Tabla 4.** Características generales del PIC16F88



**Fig. 23.** Distribución de pines del PIC16F88

De este microcontrolador se emplean los 18 pines que posee para las distintas funcionalidades anteriormente descritas, además de la alimentación y los pines necesarios para su posterior programación. La asignación de pines a los distintos dispositivos es la siguiente:

1. **Alimentación:** Se asigna a los pines 5 (VSS) y 14 (VDD). El pin VSS es el de tierra, mientras que el pin VDD se conecta a los 5V de la alimentación.
2. **Programación:** El RJ-11 empleado para la programación se asigna a los pines RA5 (MCLR), RB6 (PGC) y RB7 (PGD).
3. **Lector RFID:** Los pines RB2 (RX) y RB5 (TX) se utilizan para la comunicación UART, mientras que en la comunicación I<sup>2</sup>C se emplean los pines RB1 (SDA) y RB4 (SCL).
4. **Pulsadores:** Se asignan a los pines 16 (RA7) y 6 (RB0) del microcontrolador.
5. **Pantalla LCD:** Este dispositivo utiliza los pines RA0 (DB4), RA1 (DB5), RA2 (DB6) y RA3 (DB7) para el bus de datos, además de los pines RA4 (RS) y RA6 (E).

6. **Zumbador:** Se asigna al pin 9 (RB3) del microcontrolador.

7. **Cerradura magnética:** El relé emplea el pin 13 (RB7) del microcontrolador.

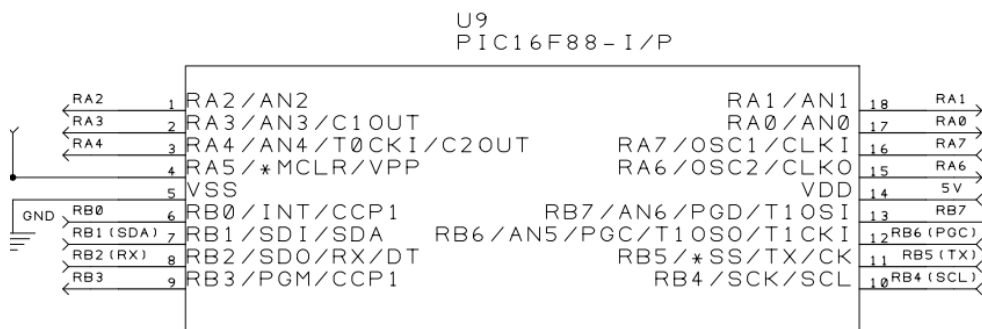
Esta relación entre dispositivos y pines requeridos queda reflejada en la siguiente tabla.

Dispositivos	Pines
Alimentación	VSS/VDD
Programación	RA5/RB6/RB7
Lector RFID	RB1/RB2 (UART) y RB4/RB5 (I <sup>2</sup> C)
Pulsadores	RA7/RB0
LCD	RA0/RA1/RA2/RA3/RA4/RA6
Zumbador	RB3
Cerradura magnética	RB7

**Tabla 5.** Distribución de los dispositivos

Como se puede apreciar en la anterior tabla se emplean tanto los pines para la comunicación UART como I<sup>2</sup>C, con el objetivo de poder emplear ambas en función del tipo de comunicación que se desee usar o del tipo de lector empleado si se pretende cambiar en un futuro. El cambio en el empleo de una u otra comunicación se realiza mediante un interruptor deslizando de dos polos.

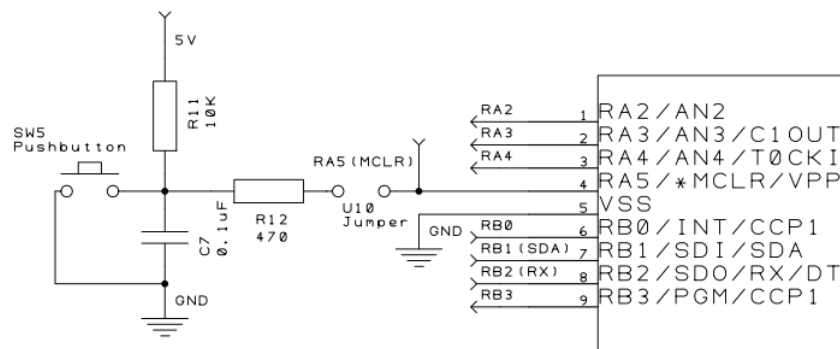
Además, el pin RB7 se emplea tanto para la programación del microcontrolador (PGD) como para la activación de la cerradura magnética. Al igual que con los dos tipos de comunicación se emplea un interruptor deslizando, en este caso de un único polo para el intercambio entre una y otra función.



**Fig. 24.** Conexiones del microcontrolador PIC16F88

### Circuito de Reset:

Un pulso de nivel bajo en este pin, con una duración mínima genera un reset. Pulsos más cortos no garantizan la generación de un reset. En la siguiente figura podemos observar el circuito de reset diseñado para nuestro prototipo.



**Fig. 25.** Circuito de reset

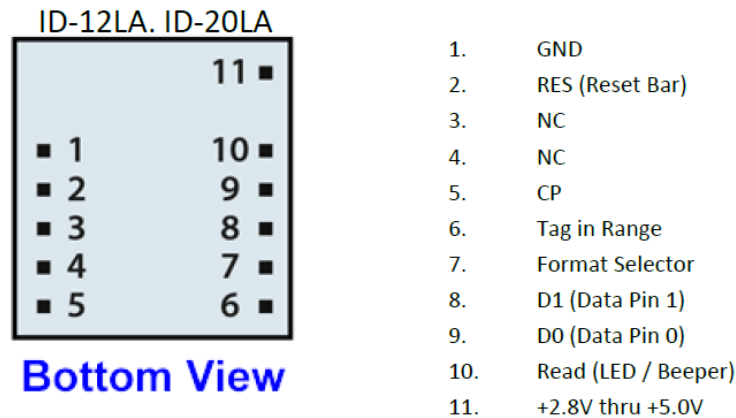
## 4.1.2. Lector ID-12LA

El lector RFID que se utiliza es el ID-12LA de ID-Innovations, el cual se ajusta a nuestras necesidades de lectura y procesamiento de datos. Éste posee una antena interna integrada que trabaja en la frecuencia de 125 KHz con un rango de lectura de máximo 12 cm. Además realiza la lectura de tags pasivos soportando protocolos como el ASCII, Wiegand26 y Magnetic ABA. En la siguiente tabla se aprecian las características generales de este lector.

Parameters	ID-12
Read Range	12+ cm
Dimensions	26 mm x 25 mm x 7 mm
Frequency	125 kHz
Card Format	EM 4001 or compatible
Encoding	Manchester 64-bit, modulus 64
Power Requirement	5 VDC @ 30mA nominal
I/O Output Current	-
Voltage Supply Range	+4.6V through +5.4V

**Tabla 6.** Características generales del lector ID-12LA

La conexión de este lector RFID está basada en el diagrama recomendado por el fabricante en la datasheet del mismo. Éste posee 11 pines de los cuales los pines 3, 4, 5, 6, 8 y 10 no se utilizan para nuestro prototipo, debido a que el 3 y 4 son para una antena externa, el 5 y 6 no son funcionales ya que el tipo de conexión que se utiliza para la adquisición de datos es el formato ASCII, el pin 8 que es una salida de datos y que en nuestro caso utilizamos el pin 9, ya que esta salida nos proporciona los datos en voltajes TTL, y por último el pin 10 que es una salida que permite activar un led o un zumbador si así se desea.



**Fig. 26.** Distribución de pines del lector ID-12LA

En la siguiente tabla se aprecian la descripción de cada uno de los pines del lector para la adquisición de datos en formato ASCII.

Pin No.	Description	ASCII
Pin 1	Zero Volts and Tuning Capacitor Ground	GND 0V
Pin 2	Strap to +5V	Reset Bar
Pin 3	To External Antenna and Tuning Capacitor	Antenna
Pin 4	To External Antenna	Antenna
Pin 5	Card Present	No function
Pin 6	Future	Future
Pin 7	Format Selector (+/-)	Strap to GND
Pin 8	Data 1	CMOS
Pin 9	Data 0	TTL Data (inverted)
Pin 10	3.1 kHz Logic	Beeper / LED
Pin 11	DC Voltage Supply	+5V

**Tabla 7.** Descripción de los pines para la adquisición de datos en formato ASCII

En el prototipo se emplea el pin 9 de salida de datos debido a su salida en voltajes TTL. Esta salida transmite los datos mediante comunicación serie y en formato ASCII mediante el conexionado anteriormente descrito.

Output Data Structure - ASCII - 9600 Baud, No Parity, 1 stop bit.

Output = CMOS (Push Pull) 0-Vdd

STX (02h)	DATA (10 ASCII)	CHECK SUM (2 ASCII)	CR	LF	ETX (03h)
-----------	-----------------	---------------------	----	----	-----------

**Fig. 27.** Estructura de los datos de salida del lector (Formato ASCII)

Como se puede apreciar la comunicación serie se realiza para 9600 baudios, con 1 bit de parada y sin paridad. Así, el código de identificación del tag son los 10 bytes ASCII después del inicio de la trama (02h) seguidos de un checksum de 2 bytes que es el resultado de realizar un "exclusive OR" entre los 5 bytes hexadecimales de los caracteres ASCII de los datos.

**Example for Calculation of Checksum for ASCII**

Suppose the output Data is 0C000621A58E

Here the actual data is 0C,00,00,06,21,A5 and the checksum is 8E

Using binary we Exclusive OR the bit columns

0C	=	00001100
00	=	00000000
06	=	00000110
21	=	00100001
A5	=	10100101
CHECKSUM		10001110 (8E)

**Fig. 28.** Comprobación de una lectura del lector ID-12LA

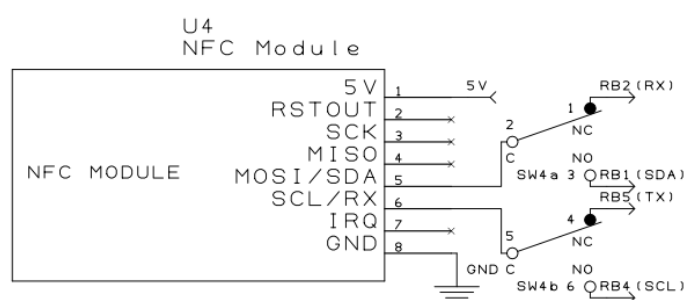
Los tags compatibles con el lector ID-12LA empleado son los tags EM4100, los cuales funcionan a 125 kHz (entre 100 y 150 KHz), tienen una memoria de 64 bits que solamente se puede leer y utiliza modulación ASK y codificación tipo Manchester.

**Circuito de conexión del lector ID-12LA:**

Como se mencionó anteriormente se pretende emplear tanto los pines para la comunicación UART como I<sup>2</sup>C del PIC16F88, con el objetivo de poder utilizar ambas en función del tipo de comunicación que se desee o del tipo de lector empleado.

Esto es debido a que en un principio se pretendía emplear el lector NFC Module de ElecFreaks y que permite la comunicación tanto UART como I<sup>2</sup>C y SPI, pero debido a diversos problemas en la configuración del mismo se decidió reemplazarlo por el descrito anteriormente.

Así, se utiliza un interruptor deslizable de dos polos que permite el intercambio entre la comunicación UART y I<sup>2</sup>C de este lector y cuya conexión con el microcontrolador puede apreciarse en la siguiente figura.



**Fig. 29.** Conexión entre el lector y el microcontrolador

Dado que finalmente se emplea el lector ID-12LA, únicamente se utilizan los pines 1 y 7 (GND), 2 y 11 (5 V) y el pin 9 que, como se ha descrito anteriormente, es el pin de salida de datos en formato ASCII y que se conecta al pin 8 (RX) del PIC16F88 para la transmisión de los datos mediante la comunicación serie UART.

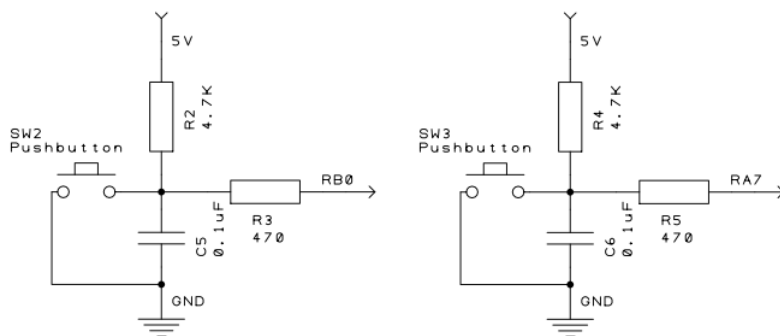
### 4.1.3. Pulsadores

Los dos pulsadores empleados permiten al administrador del sistema navegar por el menú del prototipo pudiendo añadir o eliminar tags, así como cambiar el tag maestro que permite el acceso a éste.



Además, es importante tener en cuenta que se requiere como mínimo unos 100 ms para presionar un pulsador, pero este tiempo para un microcontrolador es lo suficientemente largo como para reconocerlo como varias pulsaciones. A este proceso se conoce como efecto rebote y se puede eliminar tanto por hardware como por software, siendo eliminado por software en este prototipo.

Estos pulsadores se conectan a los pines 6 (RB0) y 16 (RA7) como se puede apreciar en la siguiente figura.



**Fig. 30.** Conexión entre los pulsadores y el microcontrolador

#### 4.1.4. LCD

El prototipo requiere mostrar información en todo momento al usuario del funcionamiento por lo que existe la necesidad de emplear un display LCD para ello. El tipo de LCD utilizado es de 2x16, siendo éste uno de los periféricos más utilizados en dispositivos electrónicos para la visualización de información.

Un LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo de visualización gráfico que permite mostrar caracteres ASCII, y que en el prototipo se emplea para presentar mensajes al usuario del estado del mismo. El dispositivo LCD empleado es de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter es una

La conexión entre el display LCD y el microcontrolador se puede realizar de dos modos diferentes: el primero llamado "modo de 8 bits" el cual consiste en recibir los datos desde 8 pines distintos en un único paso, y el otro llamado "modo de 4 bits" en el cual se reciben los datos en dos partes por lo que únicamente son necesarios 4 pines.

En la siguiente figura se pueden apreciar las diferencias entre ambos modos de conexión entre el display LCD y el microcontrolador del prototipo.



45

mismo para evitar daños tanto al display como al resto de dispositivos de la aplicación.

En la siguiente tabla se describe cada uno de los pines del display LCD empleado en el prototipo.

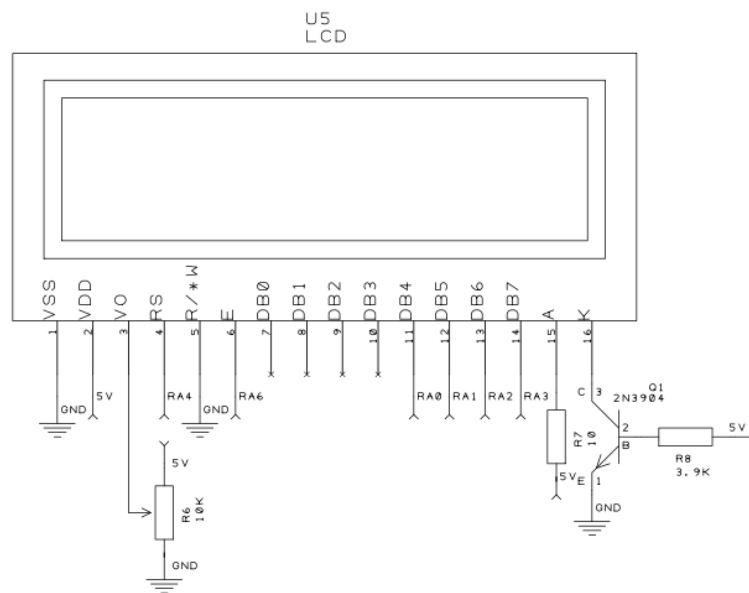
<i>PIN ASSIGNMENT</i>		
Pin no.	Symbol	Function
1	Vss	Power supply(GND)
2	Vdd	Power supply(+)
3	Vo	Contrast Adjust
4	RS	Register select signal
5	R/W	Data read / write
6	E	Enable signal
7	DB0	Data bus line
8	DB1	Data bus line
9	DB2	Data bus line
10	DB3	Data bus line
11	DB4	Data bus line
12	DB5	Data bus line
13	DB6	Data bus line
14	DB7	Data bus line
15	A	Power supply for LED B/L (+)
16	K	Power supply for LED B/L (–)

**Tabla 8.** Descripción de pines del display LCD

### **Circuito de conexión del display LCD:**

El display LCD se implementa en el prototipo mediante la conexión de 4 bits de datos descrita anteriormente. Estos 4 pines de datos empleados (DB4-DB7) se conectan a los correspondientes pines (RA0-RA3) del PIC16F88. Adicionalmente se emplea un potenciómetro de 10 K $\Omega$  en el pin 3 (Vo) con el objetivo de poder controlar el contraste del display.

A continuación se muestra el diagrama de conexión entre el display LCD y el microcontrolador PIC16F88.

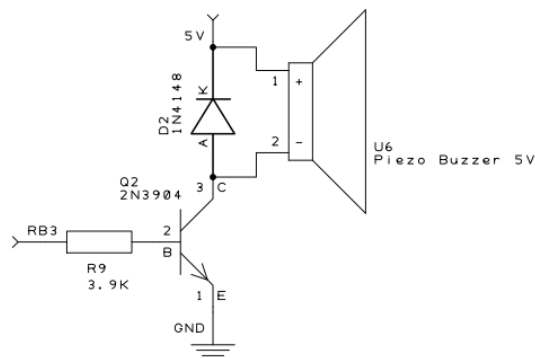


**Fig. 32.** Conexión entre el display LCD y el microcontrolador

### 4.1.5. Zumbador

El prototipo incluye un zumbador de 5 V que permite establecer avisos sonoros para determinadas situaciones y que permiten al usuario, junto con el display LCD, conocer en todo momento el estado del sistema.

Este dispositivo se activará mediante un transistor (2N3904) cuya base se conecta mediante una resistencia directamente al pin 9 (RB3) del microcontrolador PIC16F88.



**Fig. 33.** Conexión entre el zumbador y el microcontrolador

A continuación se describe el cálculo para la obtención de valor de la resistencia de base del transistor 2N3904.

$$I_c = 10 \text{ mA} ; \beta = 100$$

$$R_B = \frac{V_0 - V_{BE}}{I_B}$$

$$I_B > \frac{I_c}{\beta}$$

$$R_B = \frac{5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1,1}$$

$$I_B > \frac{10 \text{ mA}}{100}$$

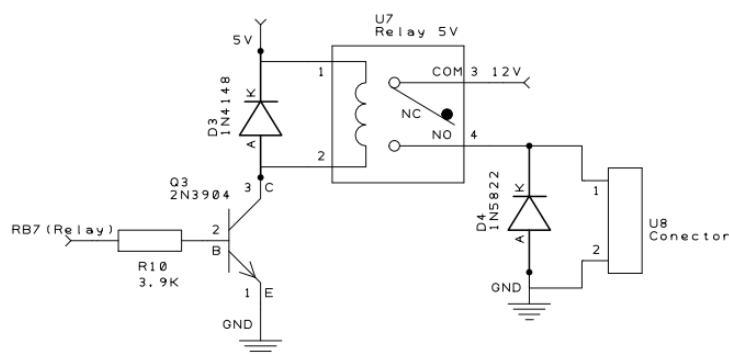
$$R_B \approx 3,9 \text{ K}\Omega$$

$$I_B > 0,1 \text{ mA} \quad I_B \approx 1,1 \text{ mA}$$

## 4.1.6. Cerradura Magnética

La cerradura magnética empleada en el prototipo se basa en un electroimán que se activa con una tensión continua de 12 VDC y una corriente entre 280 y 300 mA. Para la activación del electroimán de la cerradura se introduce un relé de 5 VDC que se encarga de permitir o no el paso de corriente.

Dicho relé se activará mediante un transistor (2N3904) cuya base se conecta mediante una resistencia directamente al pin 13 (RB7) del microcontrolador PIC16F88.



**Fig. 34.** Conexión entre la cerradura magnética y el microcontrolador

A continuación se describe el cálculo para la obtención de valor de la resistencia de base del transistor 2N3904.

$$I_c = 10 \text{ mA} ; \beta = 100$$

$$I_B > \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_B > \frac{10 \text{ mA}}{100}$$

$$I_B > 0,1 \text{ mA} \quad I_B \approx 1,1 \text{ mA}$$

$$R_B = \frac{V_0 - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1,1}$$

$$R_B \approx 3,9 \text{ K}\Omega$$

#### 4.1.7. Fuente de Alimentación

El prototipo requiere de una fuente de alimentación externa que permita satisfacer las necesidades tanto de tensión como de corriente del diseño, para lo cual se opta por utilizar la alimentación directamente desde un enchufe mediante un adaptador que permita transformar la tensión alterna de 230 V eficaces en 12 V de continua para su posterior tratamiento.

Este transformador se conecta al prototipo por medio de un conector Jack hembra que se incorpora al PCB.

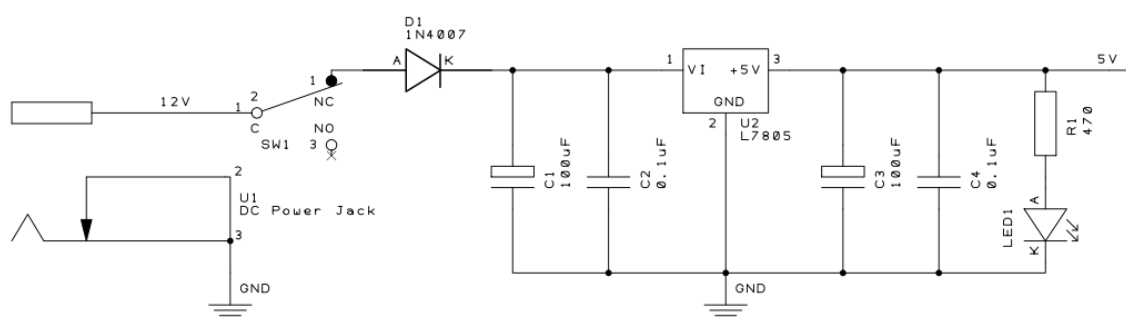


**Fig. 35.** Conector DC jack hembra

Una vez alimentado el circuito se debe regular la tensión para garantizar el correcto funcionamiento del prototipo. En primer lugar nuestra alimentación que llega al conector hembra tiene un valor máximo de 12 VDC y es esta tensión la que se emplea para activar la cerradura magnética.

En cambio para la alimentación del lector, el microcontrolador, los pulsadores, la pantalla LCD, el zumbador y el relé se necesita utilizar un regulador de tensión (LM7805).

A la salida del conector hembra se introduce un interruptor de palanca que permite el encendido y apagado completo del prototipo. Así mismo, los condensadores de 100  $\mu$ F y 0,1  $\mu$ F funcionan como filtros, mientras que el diodo 1N4007 proporciona protección con el objetivo de evitar que la corriente circule en sentido inverso. A la salida del regulador de tensión se tiene en primer lugar un LED que indica si el prototipo está o no encendido y de igual manera que antes, los condensadores de 100  $\mu$ F y 0,1  $\mu$ F que funcionan como filtros.



**Fig. 36.** Circuito de alimentación

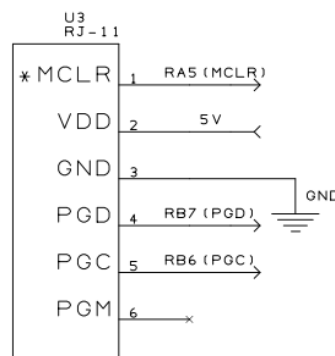
## 4.1.8. Circuito de Programación

La programación del microcontrolador PIC16F88 se realizará mediante MPALAB ICD 3 de Microchip y por lo tanto la conexión que se sigue entre éstos es la establecida en su hoja de especificaciones. Además, el compilador que se emplea con este dispositivo incluye tanto la herramienta de programación como la de debugger que permite probar y eliminar errores en el código sin necesidad de programar el microcontrolador.



**Fig. 37.** Conector RJ-11

La conexión de este dispositivo al microprocesador PIC16F88 se realiza mediante un conector RJ-11 empleando, además de los pines de alimentación de éste, los pines RA5 (MCLR), RB6 (PGC) y RB7 (PGD) como se muestra en la siguiente figura.



**Fig. 38.** Circuito de programación



## 4.2. Software del Prototipo

Para la programación del microcontrolador PIC16F88 se pueden utilizar distintos lenguajes, desde bajo nivel como el "Assembler", hasta alto nivel como puede ser por ejemplo el lenguaje C.

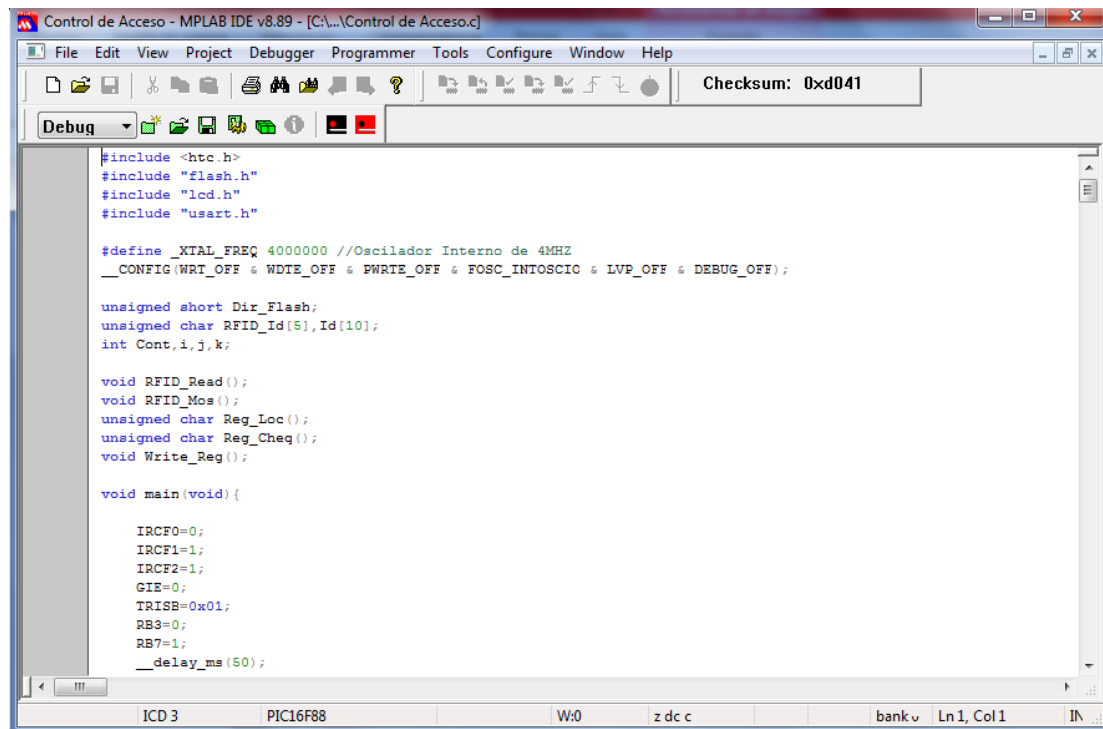
En este caso se ha utilizado este último lenguaje mediante el compilador MPLAB IDE de Microchip en su versión 8.89. Este tipo de lenguaje no está especializado en ningún tipo de aplicación por lo que lo hace un lenguaje potente, con un campo de aplicación ilimitado.



**Fig. 39.** Interfaz de inicio de MPLAB IDE

Este programa nos permite desarrollar las instrucciones necesarias para ejecución de la lógica del sistema, para la posterior compilación y programación del microcontrolador PIC16F88 de nuestro prototipo.

Además, como se mencionó anteriormente este compilador incluye tanto la herramienta de programación como la de debugger que permite probar y eliminar errores en el código sin necesidad de programar el microcontrolador.



**Fig. 40.** Interfaz de MPLAB IDE

Como se describió con anterioridad, el programa del microcontrolador es el encargado de ejecutar todas las funciones necesarias para el correcto funcionamiento de nuestro prototipo.

A continuación se desarrolla la lógica seguida por el programa mediante diagramas de flujo. El código completo del mismo se encuentra en el anexo.

## 4.2.1. Acceso al Menú de Configuración

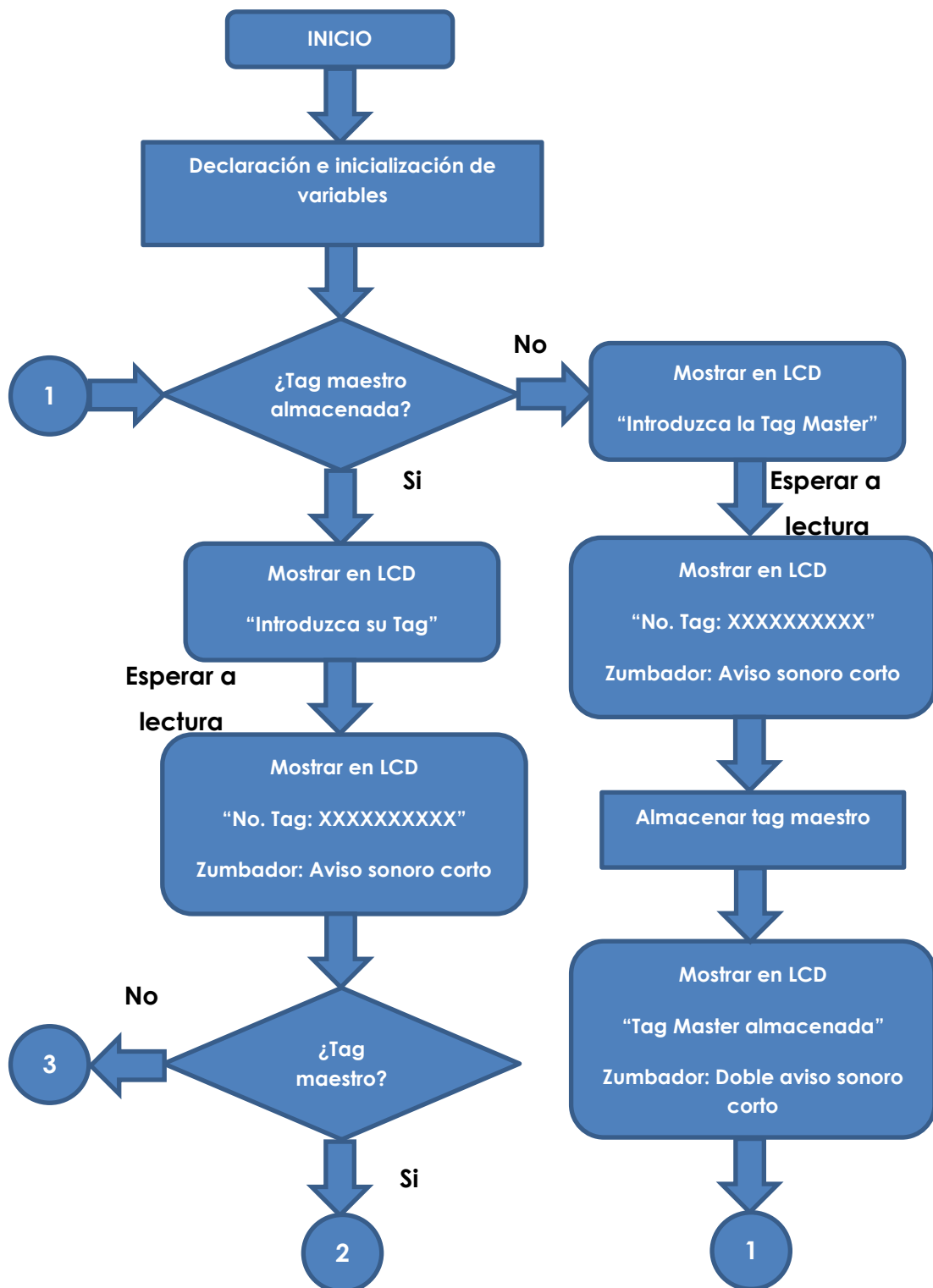
En primer lugar se realiza la configuración del microprocesador PIC16F88 seguido posteriormente de la declaración e inicialización de variables. Lo que se pretende al inicio del programa es que si no hay ningún tag maestro almacenado (designado a la posición 0x0920 de la memoria Flash), éste se pida al usuario para que lo introduzca y así quedar este almacenado.

Esto únicamente sucederá la primera vez que se inicie el sistema, ya que desde ese momento en la posición 0x920 de la memoria Flash siempre estará registrado el tag maestro que permitirá al administrador acceder al menú.

Una vez que hay un tag maestro almacenado en la posición de memoria Flash 0x920, se pedirá al usuario que introduzca un tag. En este momento existe un tag maestro almacenado en el registro por lo que lo primero que se comprueba es si este nuevo tag introducido es el tag maestro o no.

En caso de ser el tag maestro el introducido se accede al menú de administración del sistema, desde el que se podrá añadir, eliminar o cambiar el tag maestro.

Así mismo, tanto el display LCD como el zumbador mostrarán avisos al usuario de lo que está ocurriendo en el dispositivo en todo momento. Se pedirá al usuario que introduzca su tag mostrando en el display "Introduzca su tag" hasta que se produzca la lectura del mismo, mostrando posteriormente "No. Tag: XXXXXXXXXXX", además de un aviso sonoro corto. En el caso de que no hubiese tag maestro almacenado, se mostraría después de 3 segundos "Tag master almacenada" junto a un doble aviso sonoro corto.



**Fig. 41.** Diagrama de flujo del acceso al menú de configuración

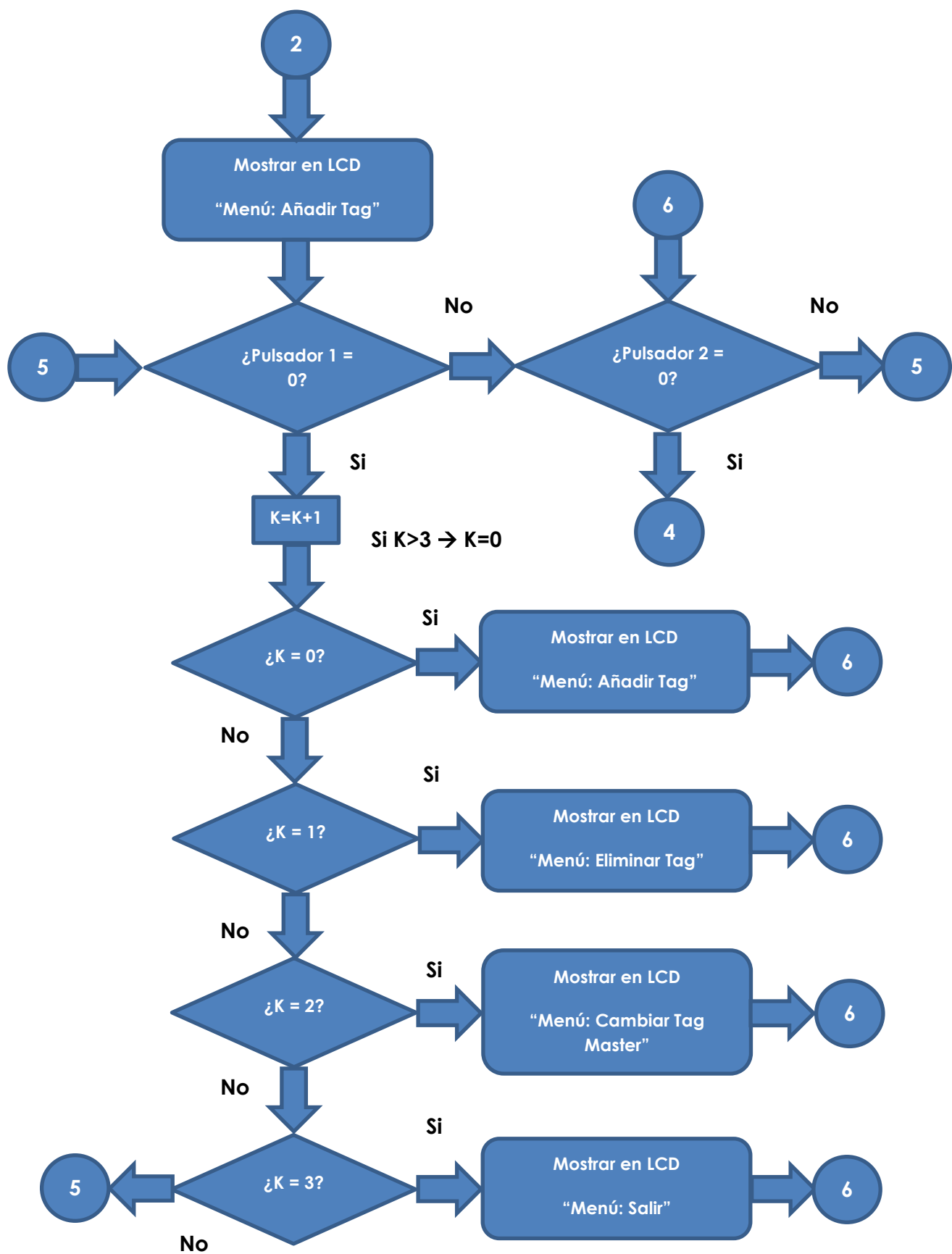
## 4.2.2. Menú de Configuración

Como se ha descrito anteriormente, en el caso de ser el tag maestro el introducido se permitirá al administrador acceder al menú de configuración del sistema, desde el que se podrá añadir o eliminar un tag, además de cambiar el tag maestro.

Uno de los pulsadores permitirá al administrador del sistema navegar por el menú e ir cambiando entre las diferentes opciones del mismo (Añadir tag, eliminar tag, cambiar tag maestro y salir). Con el otro pulsador se podrá acceder a la opción que en ese momento se muestre en pantalla.

El display LCD mostrará en pantalla los siguientes mensajes en función de la opción en la que se encuentre: "Menú: Añadir Tag", "Menú: Eliminar Tag", "Menú: Cambiar Tag Master" y "Menú: Salir".

El cambio entre estas opciones se realizará con un contador entre 0 y 3 y que se incrementará al realizar una pulsación hasta llegar al límite, en donde volverá a 0.



**Fig. 42.** Diagrama de flujo del menú de configuración

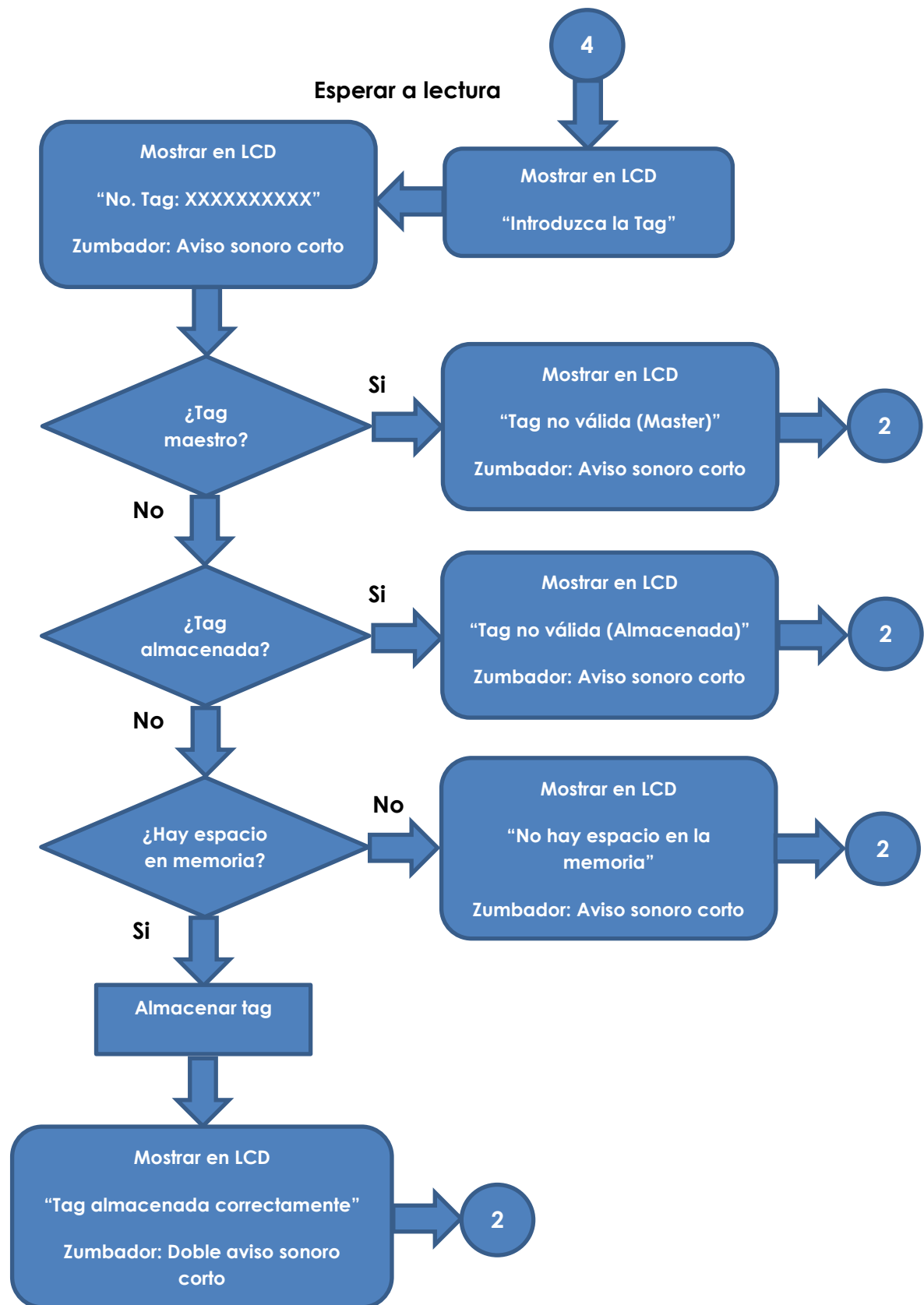
## Añadir Tag

Una vez seleccionada la opción de añadir tag, se pedirá mediante un mensaje en el display LCD como anteriormente que se introduzca el tag que se desea añadir al registro. Cuando se realice la lectura del tag, se mostrará en pantalla el código del tag que se pretende añadir y se comparará con los códigos ya almacenados en el registro de la memoria Flash.

En primer lugar se comprobará si es el tag maestro, si ya está almacenado o si no hay espacio en la memoria para más tag. Si se da alguno de estos casos se mostrará en el display el correspondiente mensaje de error ("Tag no válida (Master)", "Tag no válida (Almacenada)" y "No hay espacio en la memoria") así como un aviso sonoro corto como señal de error.

En el caso de que no se produzca ninguno de los anteriores errores, el tag se almacenará en la primera posición libre del registro y se mostrará en el display LCD "Tag almacenada correctamente" junto con un doble aviso sonoro corto.

Una vez almacenado el tag o dado el error se volverá al menú de configuración anterior.



**Fig. 43.** Diagrama de flujo para añadir un tag



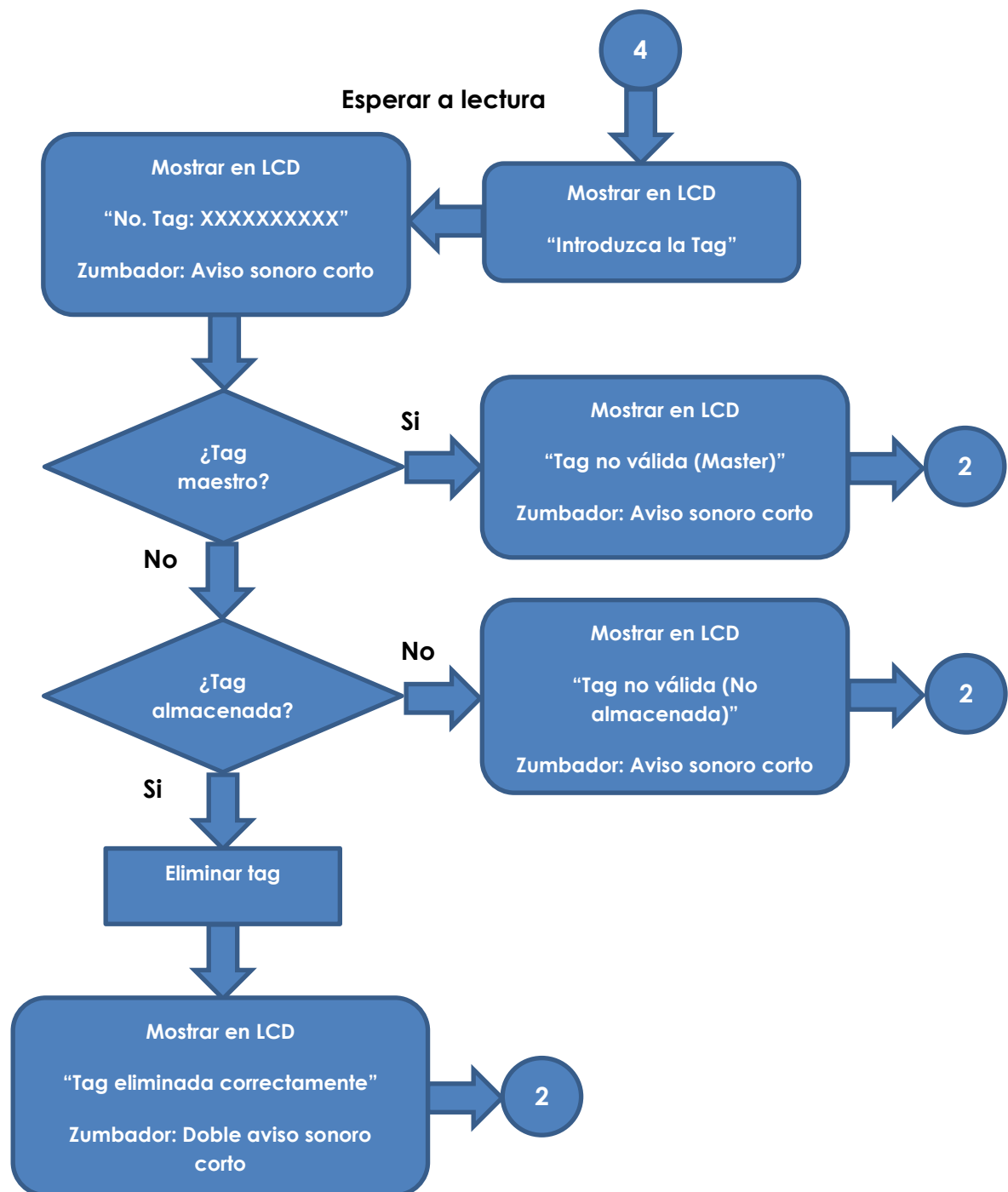
## Eliminar Tag

Al igual que para añadir un tag, una vez seleccionada esta opción se pedirá mediante un mensaje en el display LCD que se introduzca el tag que se desea eliminar del registro. Cuando se realice la lectura del tag, se mostrará en pantalla el código del tag que se pretende eliminar y se comparará con los códigos ya almacenados en el registro de la memoria Flash.

En primer lugar se comprobará si es el tag maestro o si no se encuentra almacenado. Si se da alguno de estos casos se mostrará en pantalla el correspondiente mensaje de error ("Tag no válida (Master)" y "Tag no válida (No almacenada)") así como un aviso sonoro corto como señal de error.

En el caso de que no se produzca ninguno de los errores anteriores, el tag se eliminará dejando su posición libre en el registro y se mostrará en el display LCD "Tag eliminada correctamente", además de un doble aviso sonoro corto.

Una vez eliminado el tag o dado el error se volverá al menú de configuración anterior.



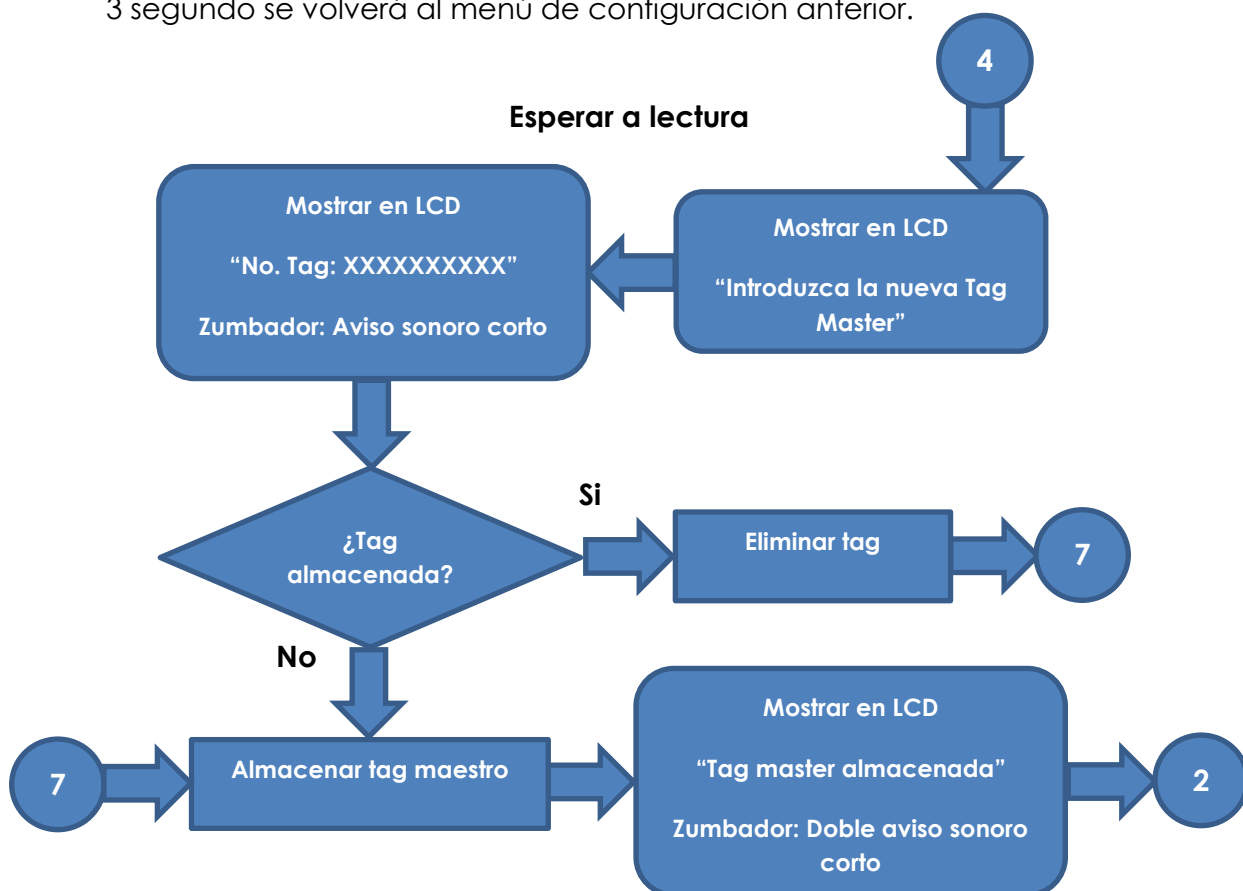
**Fig. 44.** Diagrama de flujo para eliminar un tag

## Cambiar Tag Maestro

Al igual que para añadir y eliminar un tag, una vez seleccionada esta opción se pedirá mediante un mensaje en el display LCD que se introduzca el nuevo tag maestro que se desea. Cuando se realice la lectura del tag, se mostrará en pantalla el código del nuevo tag maestro y se comprobará con los códigos ya almacenados en el registro de la memoria Flash.

Se comprobará si este tag ya está almacenado y en ese caso se eliminará del registro, ya que pasará a ser el nuevo tag maestro. En este caso no se muestran mensajes de error sea cual sea el tag, ya que siempre se podrá cambiar a maestro.

Una vez almacenado el nuevo tag master se mostrará en el display LCD "Tag Master almacenada", además de un doble aviso sonoro corto y pasados 3 segundos se volverá al menú de configuración anterior.



**Fig. 45.** Diagrama de flujo para cambiar el tag maestro

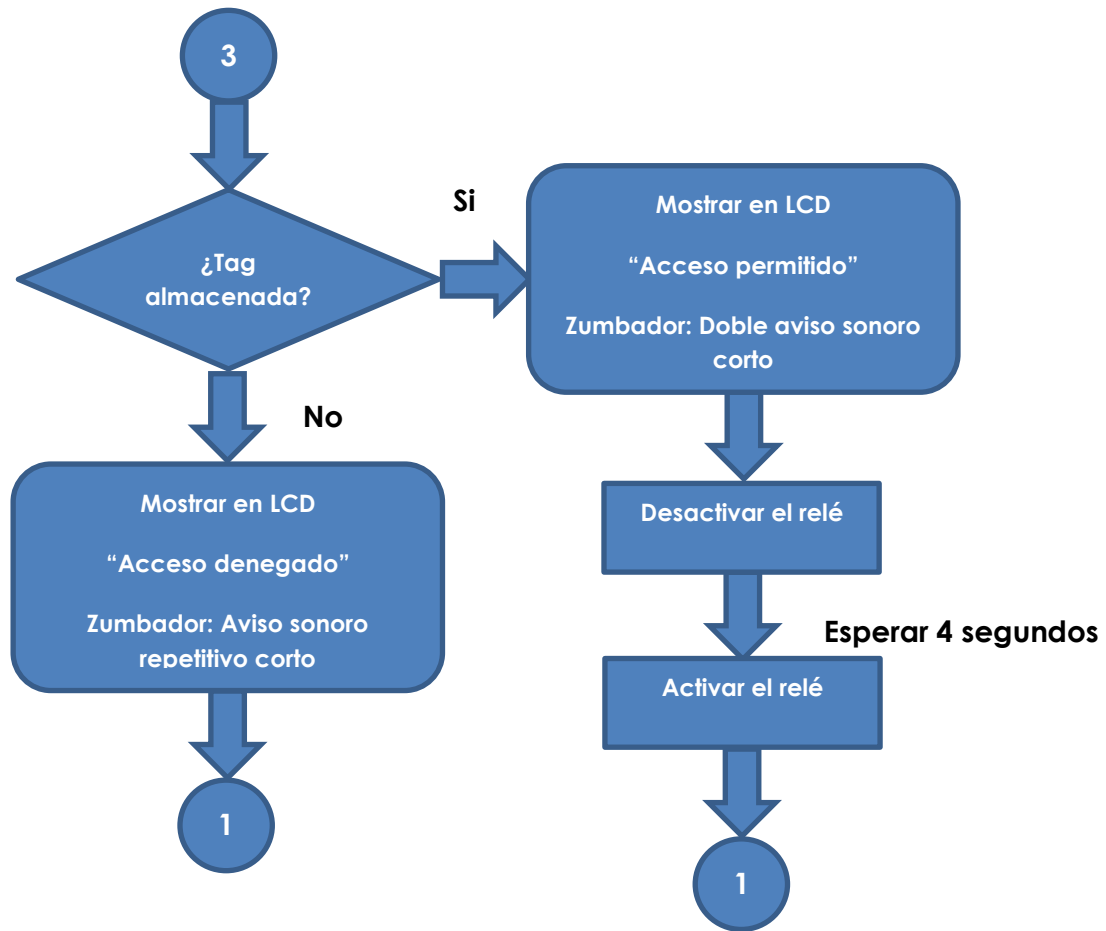
### 4.2.3. Gestión del Acceso

Como se ha descrito anteriormente, en el caso de no ser el tag maestro el introducido no se permitirá el acceso al menú de configuración del sistema, y se comprobará si éste se encuentra o no almacenado en el registro de la memoria Flash.

Si el tag introducido se encuentra en el registro se permitirá el acceso al usuario mostrándose en el display LCD "Acceso permitido", además de un doble aviso sonoro corto. Así mismo, se desactivará el relé impidiendo así el paso de la corriente por el mismo y desactivando el electroimán que permitirá el acceso del usuario.

Sin embargo, si el tag no se encuentra en el registro de la memoria Flash no se permitirá el acceso al usuario mostrándose en el display "Acceso denegado", además de un aviso sonoro repetitivo corto de pocos segundos. Así mismo, el relé continuará estando activado permitiendo por lo tanto el paso de la corriente y manteniendo el electroimán activado lo cual no permitirá el acceso.

Una vez que se permite o deniega el acceso al usuario, el programa vuelve al inicio y espera a que éste vuelva a introducir otro tag.



**Fig. 46.** Diagrama de flujo de la gestión del acceso

Para concluir, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones que se han llevado a cabo en el desarrollo del software anteriormente descrito.

En primer lugar se pretendía emplear la memoria EEPROM del microcontrolador PIC16F88 pero debido a problemas con la misma, era imposible tanto la lectura como escritura de ésta. Se decidió por lo tanto emplear la memoria Flash del microcontrolador, lo cual supuso la necesidad de crear las funciones tanto de escritura y lectura de datos como de borrado de éstos, tal y como se puede observar en el código de programa agregado en el anexo del presente documento.

Dado que para poder escribir los datos en la memoria Flash antes es necesario un borrado de la misma (32 direcciones consecutivas), se decide almacenar los códigos de identificación de los tags cada 32 direcciones empezando desde la dirección 0x0920, donde se almacenará el tag maestro, hasta la 0x0A60.

Esto permite el almacenamiento de 10 tags (1 tag maestro y 9 de usuario) ya que el resto de la memoria Flash se encuentra ocupada por el programa.

El código de identificación de estos tags de 5 bytes en hexadecimal irá precedido del byte 0x0A, lo cual permitirá determinar de una manera sencilla si en esa dirección de la memoria Flash hay o no almacenado un tag.

0x0980	0x0981	0x0982	0x0983	0x0984	0x0985
0x0A	0x0C	0x00	0x06	0x21	0xA5

**Tabla 9.** Ejemplo de almacenamiento de un tag en la memoria Flash

Por último, destacar que las funciones tanto de lectura de los tags, como de almacenamiento o borrado de los mismos, o de comprobación de si un tag se encuentra en el registro, están definidas en el código de programa adjuntado en el anexo.

## 5. Fabricación del Prototipo

Una vez que se ha realizado el diseño del prototipo como se ha descrito anteriormente, el siguiente paso en el desarrollo del mismo es la fabricación de la tarjeta de circuito impreso o PCB donde se conectarán los componentes electrónicos.

Un PCB o tarjeta de circuito impreso es la superficie formada por pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora. Las siglas comúnmente conocidas de PCB provienen del inglés ("Printed Circuit Board"). El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras el conjunto de los componentes electrónicos del diseño, así como servir de soporte y sostén mecánico del mismo. Las pistas son generalmente de cobre mientras que la base se fabrica de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

Una tarjeta de circuito impreso puede contar con una o varias capas laminadas entre sí, estando la mayoría de los PCBs compuestos por entre una y dieciséis capas separadas entre sí por material aislante. Estas capas se pueden conectar mediante orificios en las superficies llamados vías. Éstas pueden estar tanto recubiertas de material conductor como de material no conductor, además de poder ser vías pasantes, ciegas o incluso enterradas.

### 5.1. Diseño del PCB

En el proceso de diseño de la tarjeta de circuito impreso se empleó el programa DesignSpark PCB de DesignSpark en su versión 7.0.



Your design software for  
**Electronics Rapid Prototyping**

DesignSpark PCB 7.0.1  
Copyright RS Components Ltd and its Licensors. All rights reserved  
Serial: 1849613915 Activation: 675f0097390389dd373309e201b3d96f

**Fig. 47.** Interfaz de inicio de DisignSpark PCB

Este programa de DesignSpark posee un conjunto de librerías de los componentes electrónicos más empleados en el diseño de tarjetas de circuito impreso o PCBs, además de permitir la creación de los mismos si estos no se encuentran en las librerías.

Para crear un esquemático del diseño con este programa se deben insertar los componentes electrónicos necesarios, para posteriormente realizar las correspondientes conexiones y a partir de esto generar el PCB. Así, DesignSpark PCB nos permite crear las pistas y planos que posteriormente serán transferidos a la tarjeta de circuito impreso.

Este programa genera varios archivos con distintas extensiones entre las que destacan .sch del esquemático, así como .pcb que constituye el diseño de la tarjeta de circuito impreso.

En la siguiente figura se puede apreciar el esquemático del prototipo a partir del cual se genera el PCB.





Una vez realizado el esquemático del prototipo y partiendo de éste, se lleva a cabo el diseño del PCB.

En el diseño de la tarjeta de circuito impreso se presenta en primer lugar el problema de las dimensiones del mismo. En este caso, dado que se empleará como soporte una caja, las medidas vienen dadas por ésta, por lo que el PCB tendrá una dimensión de 109x109 mm.

Al determinar el tamaño y forma de la tarjeta del prototipo se necesita establecer si ésta será monocapa o multicapa. Desde un principio se determinó que éste sería de doble capa debido fundamentalmente al tamaño de alguno de sus componentes como el display LCD y el lector RFID, así como a la dimensión que viene impuesta por el soporte del diseño. Estas condiciones hicieron que fuese necesario el desarrollo de un PCB de doble capa para su correcta implementación.

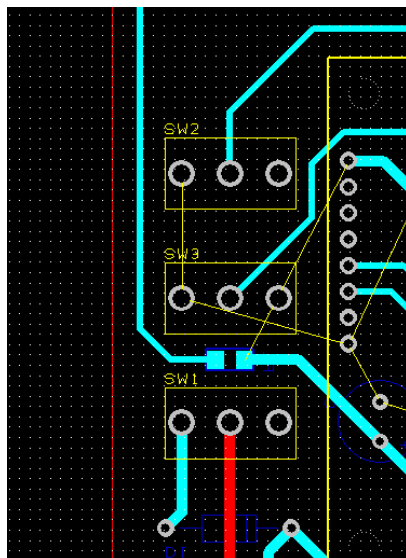
### 5.1.1. Componentes Fijos

Una vez determinado el tamaño, forma y que el PCB será de doble capa se deben ubicar aquellos componentes que ocupan un sitio específico en la tarjeta de circuito impreso. Estos componentes son:

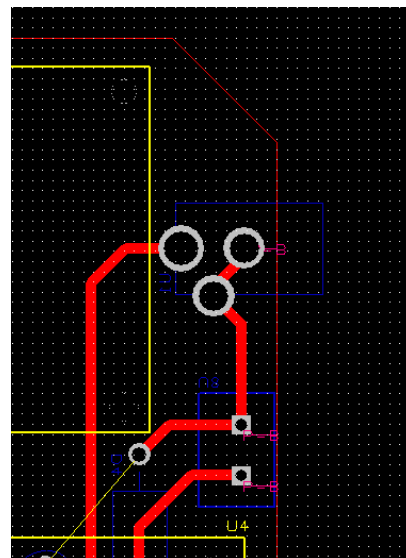
1. El display LCD en la capa superior para que sea visible por el usuario.
2. El lector RFID también en la capa superior para realizar una correcta lectura de los tags.
3. El interruptor de palanca, los dos pulsadores y el led en la capa superior para que sean accesibles también por parte del usuario.
4. El Jack hembra para la alimentación, el RJ-11 para la programación del microcontrolador y el conector para la cerradura magnética que se ubicarán en la capa inferior y junto al borde.

La ubicación de todos elementos es meramente estética de cara al usuario y podrían colocarse en cualquier otra posición siempre y cuando se respeten las capas de la misma.

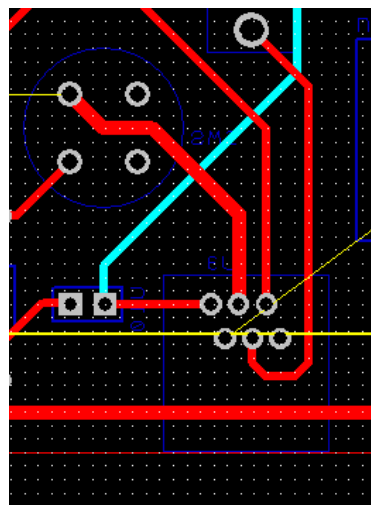
En la primera figura se muestra el interruptor de palanca y los pulsadores, además del zócalo empleado para el lector RFID, mientras que en la segunda se observa el Jack hembra de alimentación y el conector empleado para la conexión de la cerradura magnética. En la última se muestra el RJ-11 empleado para la programación del microcontrolador junto al botón de reset del mismo.



**Fig. 49.** Interruptores en el PCB



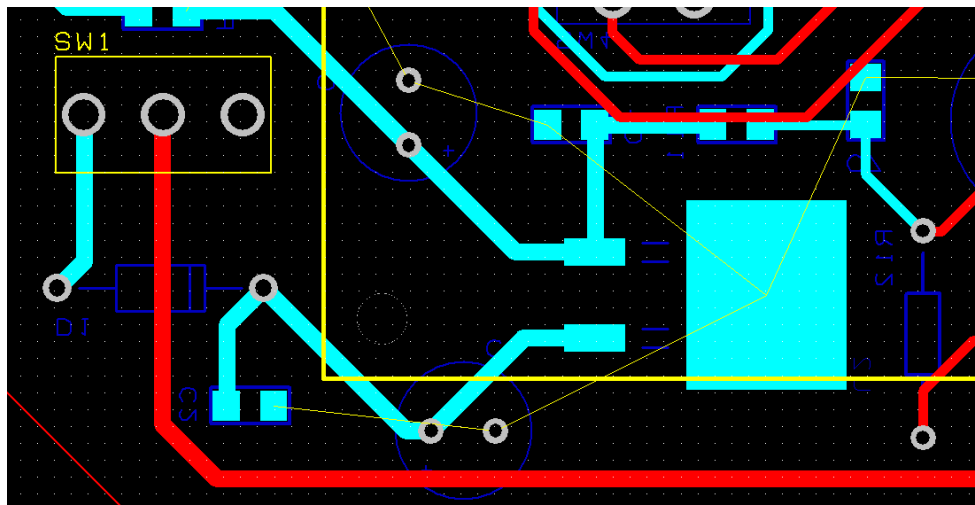
**Fig. 50.** Conectores en el PCB



**Fig. 51.** Conector RJ-11 en el PCB

## 5.1.2. Componentes Libres

Una vez determinada la posición de los elementos que se pretendían fijar, se deben ir colocando el resto de componentes del prototipo. En primer lugar se fijó la etapa de potencia del sistema formada por el circuito de alimentación anteriormente explicado.

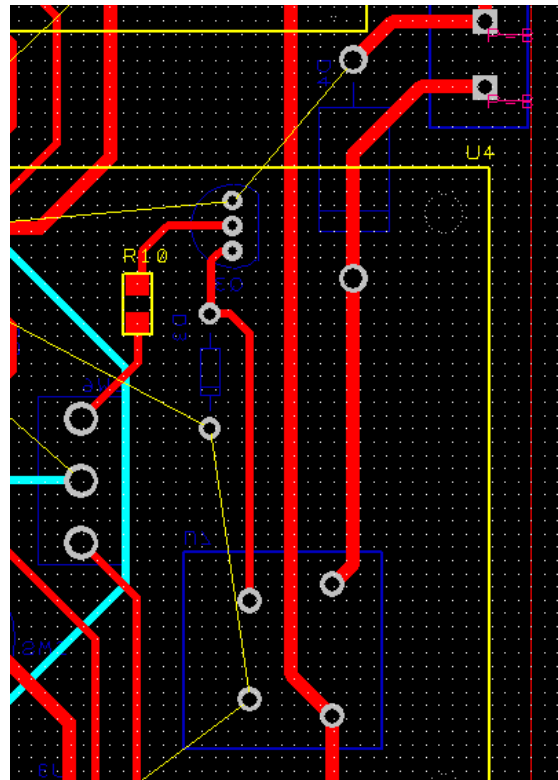


**Fig. 52.** Circuito de alimentación en el PCB

Se puede observar la colocación del regulador de tensión (LM7809) en torno al resto de componentes de este circuito de alimentación como son los condensadores cerámicos y electrolíticos, así como de las resistencias y el interruptor de palanca que permite el encendido y apagado completo del prototipo.

Posteriormente se designó la posición del relé, el cual se sitúa entre este circuito de alimentación y el conector que permite la conexión con la cerradura magnética, debido a que es necesaria una tensión de 12 VDC para la activación de ésta y con el objetivo de que esta pista fuese lo más corta posible.

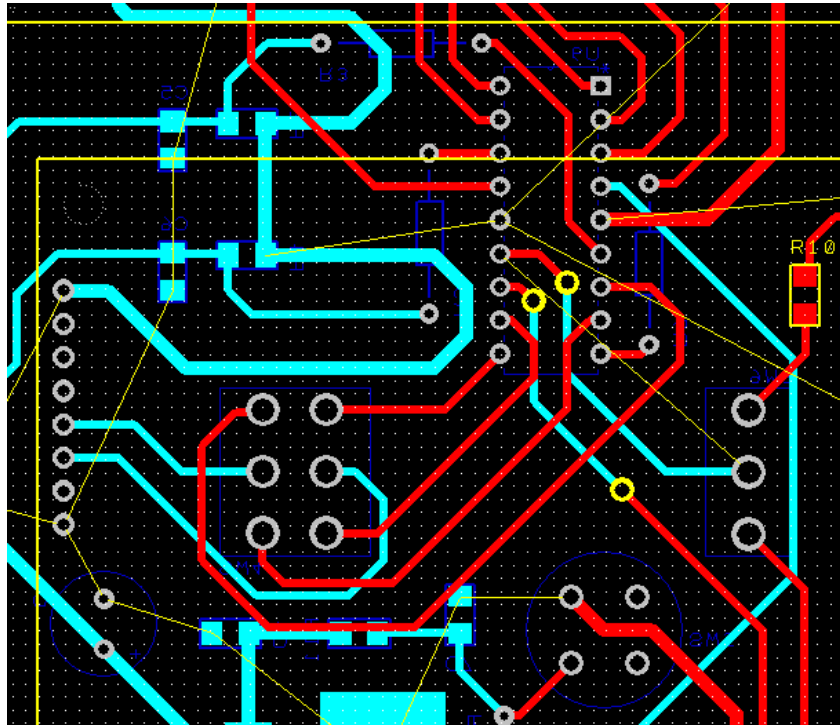
En la siguiente figura se puede observar, como se describió anteriormente, el circuito de la cerradura magnética junto con el interruptor de un polo que permite el cambio entre la programación del microcontrolador y la salida del relé.



**Fig. 53.** Conexión del relé en el PCB

El PIC16F88 se fijó en centro de la tarjeta con el objetivo de facilitar en la mayor medida posible todas las conexiones que salen y entran de él. Con esto se intenta que todas las conexiones se realicen en los pines de la capa superior facilitando la posterior soldadura de las mismas.

Como se puede observar en la siguiente figura, además de mostrar las conexiones del microcontrolador se puede apreciar el interruptor de doble polo que permite el cambio entre la comunicación UART e I<sup>2</sup>C entre éste y el lector RFID del prototipo.

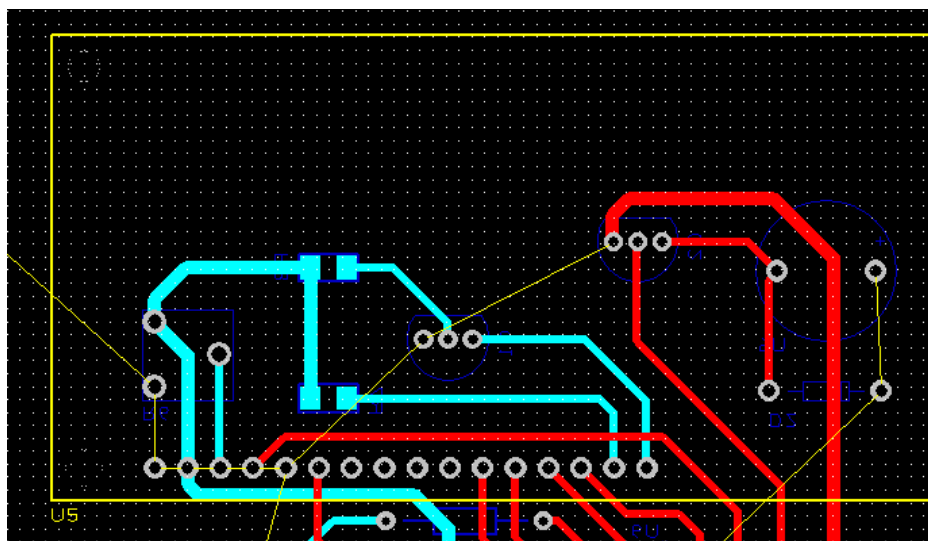


**Fig. 54.** Conexión del PIC16F88 en el PCB

De la figura anterior también cabe destacar el empleo de tres vías empleados en las pistas de RB6 (PGC) y RB7 (PGD). Estas dos pistas provienen del conector RJ-11 y se emplean para la programación del PIC16F88, por lo que el uso de estas vías tiene como objetivo la reducción de la longitud de éstas evitando posibles errores a la hora de la programación.

Por último, el zumbador se ubicó junto al microcontrolador y en la capa inferior justo debajo del display LCD. Este dispositivo fue el último en conectarse siendo este lugar el idóneo al permitir que no se realizara ninguna vía más en el PCB.

En la siguiente figura se muestra tanto la conexión del zumbador como del display LCD.



**Fig. 55.** Conexión del zumbador y el display LCD en el PCB

### 5.1.3. Pistas y Vías

Como se ha podido apreciar en las figuras anteriores, en el diseño del prototipo se emplearon dos tipos de pistas diferentes que se describen a continuación.

En primer lugar todas las conexiones de alimentación del prototipo, tanto de 5 VDC como de 12 VDC, así como tierra (GND), emplean el mismo ancho de pista, siendo éste mayor que el de resto. La anchura nominal de estas pistas es de 1,00 mm, mientras que la mínima es de 0,64 mm.

El otro tipo de pistas engloba al resto de conexiones del sistema y emplean una anchura nominal de 0,60 mm y una mínima de 0,50 mm.

	Power	Signal
Anchura mínima	0,64 mm	0,50 mm
Anchura nominal	1,00 mm	0,60 mm

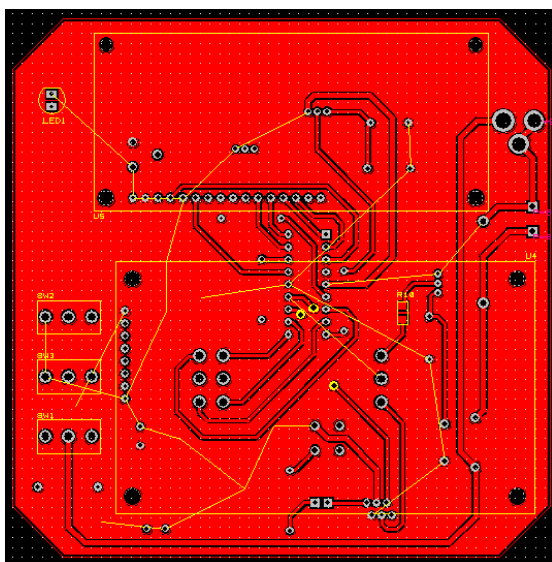
**Tabla 10.** Anchura de las pistas en función de su tipo

Las tres vías empleadas en este sistema son pads circulares, como se ha podido observar anteriormente, cuyo diámetro exterior es de 1,90 mm y su círculo interior de 1,20 mm.

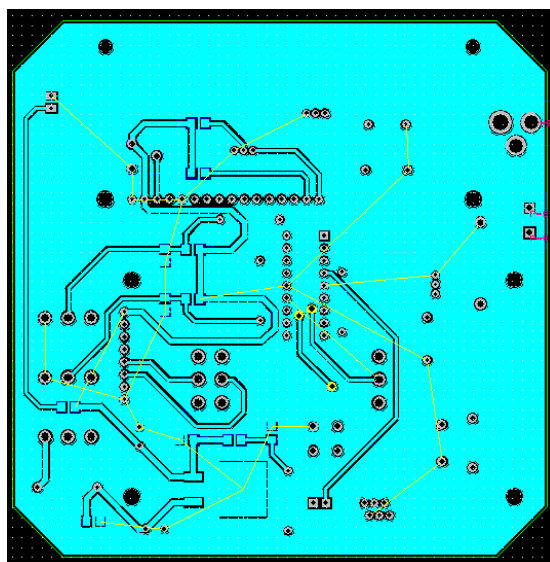
## 5.1.4. Planos

Al decidir realizar la tarjeta de circuito impreso de doble capa se permite el empleo de dos planos diferenciados entre sí. En primer lugar el plano de tierra (GND) situado en la capa inferior del PBC y en segundo lugar el plano de alimentación de 5VDC (VCC) situado en la capa superior de éste.

La realización de ambos planos permitirá realizar un número menor de pistas, ya que cualquier pin que esté conectado a GND o 5 V irá soldado directamente a estos planos, simplificando de manera considerable el diseño del mismo.



**Fig. 56.** Plano 5 V capa superior

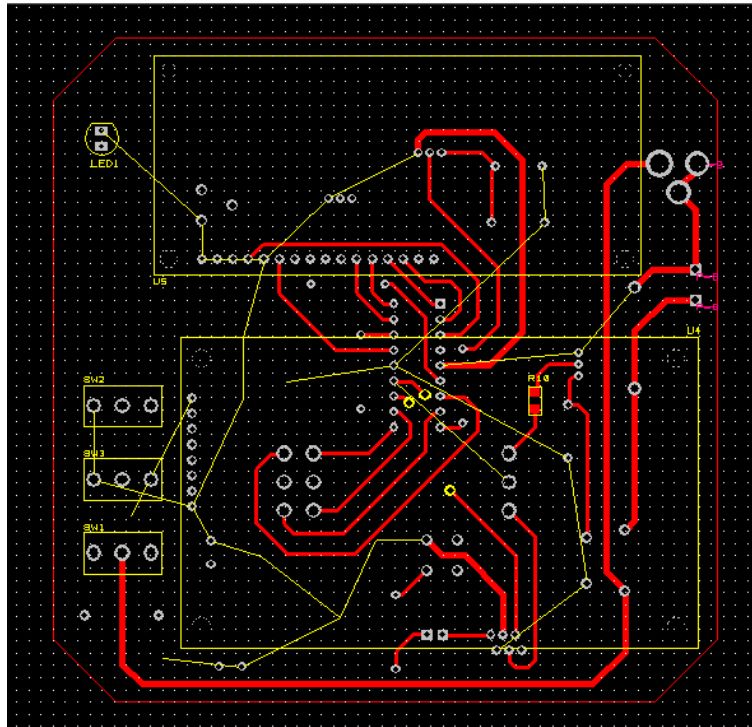


**Fig. 57.** Plano GND capa inferior

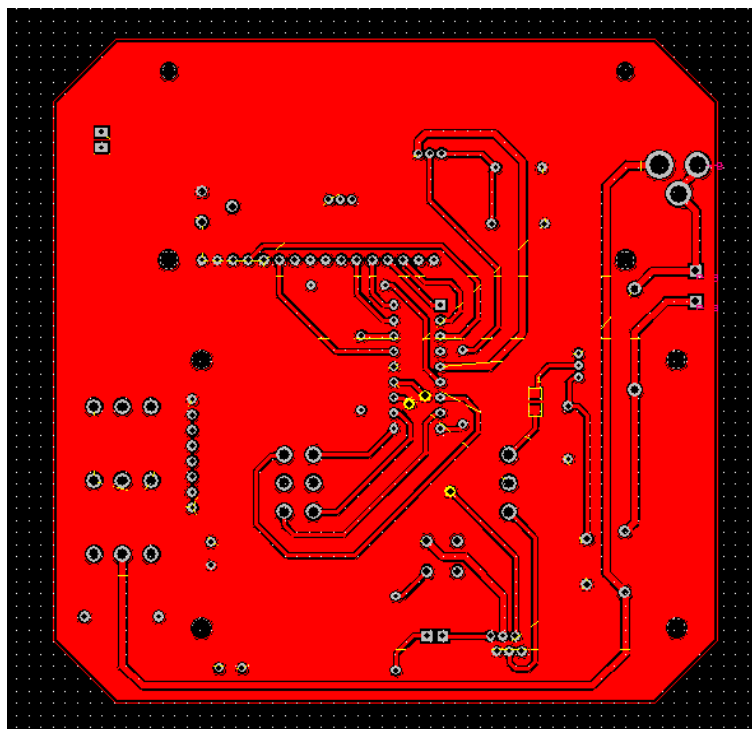


### 5.1.5. Diseño Final

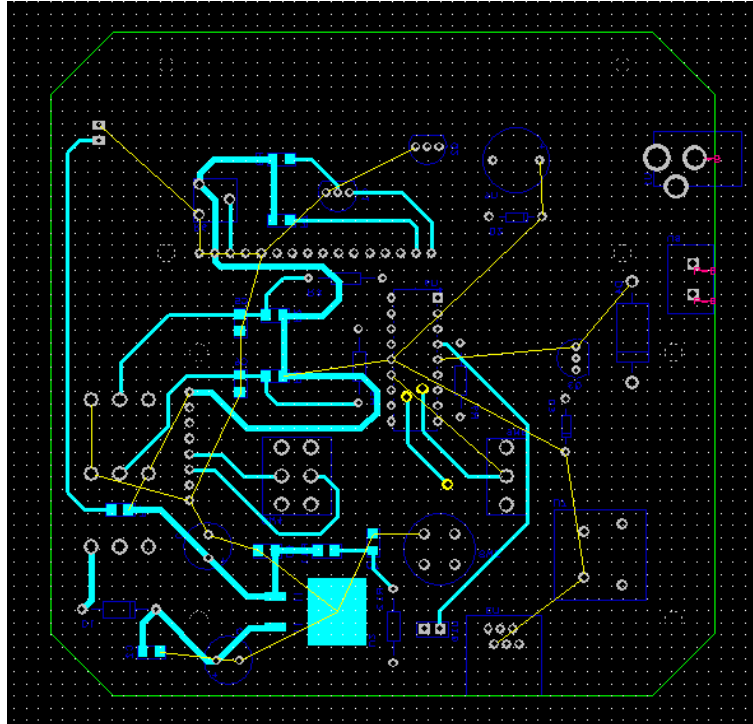
A continuación se muestra el diseño completo del PCB.



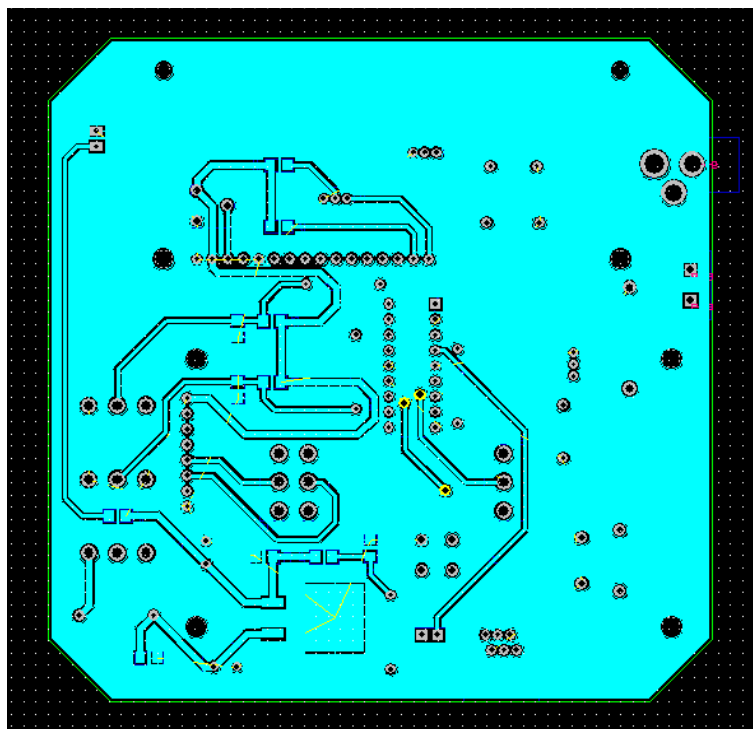
**Fig. 58.** Capa superior del PCB sin plano de alimentación (5 V)



**Fig. 59.** Capa superior del PCB con plano de alimentación (5 V)

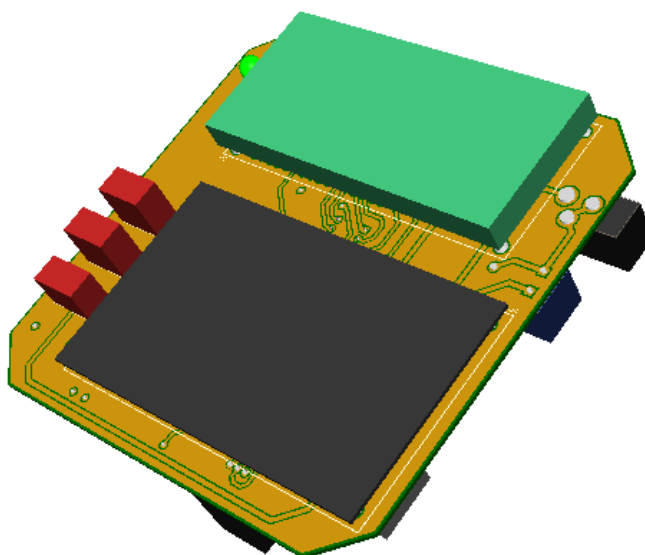


**Fig. 60.** Capa inferior del PCB sin plano de tierra (GND)

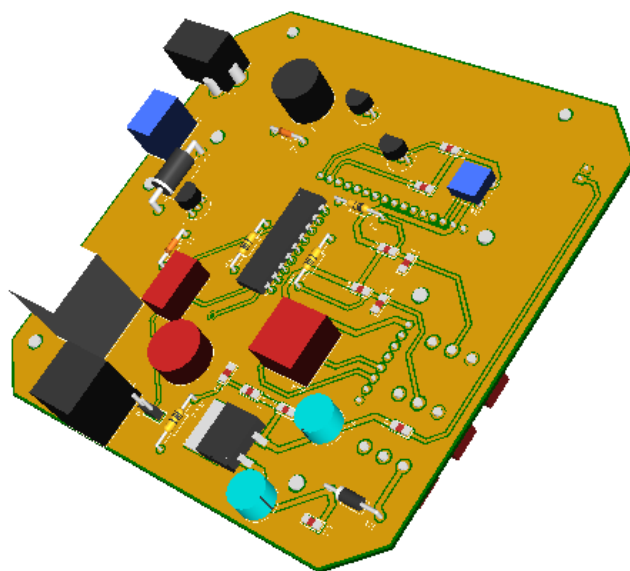


**Fig. 61.** Capa inferior del PCB con plano de tierra (GND)

El programa DesignSpark PCB tiene también disponible una herramienta que permite la visualización en 3D del diseño del prototipo. A continuación se muestran unas capturas del mismo.



**Fig. 62.** Vista en 3D de la parte superior del PCB



**Fig. 63.** Vista en 3D de la parte inferior del PCB

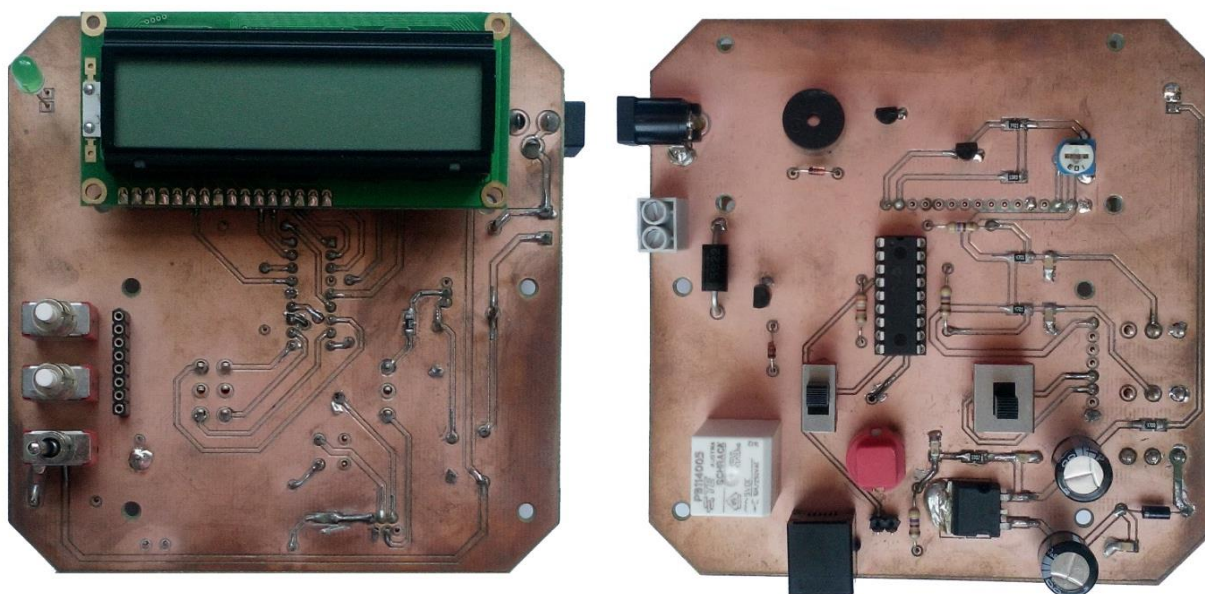
## 5.2. Montaje y Soldadura

Una vez realizado el diseño del PCB se procedió a la fabricación del mismo, así como del montaje y soldadura de cada uno de los componentes electrónicos anteriormente descritos.

Se intentó que el mayor número posible de resistencias fueran de montaje superficial, al igual que el regulador de tensión (LM7805), aunque esto no es necesario ya que existe suficiente espacio en la tarjeta como para emplear resistencias de orificio pasante.

Así mismo, tanto para el lector RFID como para el display LCD y el PIC16F88 se emplearon zócalos con el objetivo de que éstos pudiesen ser extraídos fácilmente en un futuro.

Una vez realizado el montaje y la soldadura de todos los componentes, se comprobó la continuidad con el polímetro en todas las conexiones con el fin de descartar la existencia de posibles cortocircuitos en el prototipo.



**Fig. 64.** Vista superior e inferior del PCB montado y soldado

## 6. Presupuesto

Coste final del prototipo y de 100 unidades del mismo, únicamente incluyendo el coste de los materiales empleados.

Concepto	Precio Ud. (€)	Uds.	Precio Prototipo (€)	Precio 100 Uds. (€)	Precio 100 RFID (€)
<b>Alimentación</b>					
Transformador 220 VAC-12 VDC	15,00	1	15,00	12,54	1254,00
Regulador de tensión LM7805	0,54	1	0,54	0,52	52,00
<b>Microcontrolador</b>					
PIC16F88	2,95	1	2,95	2,46	246,00
<b>Lector RFID</b>					
ID-12LA	24,40	1	24,40	21,96	2196,00
Tags	1,95	2	3,90	1,73	346,00
<b>Cerradura magnética</b>					
Cerradura magnética	25,42	1	25,42	22,76	2276,00
Relé 5 V PB114005	1,69	1	1,69	1,32	132,00
<b>Interruptores y pulsadores</b>					
Interruptor de palanca	1,18	1	1,18	1,09	109,00
Interruptores deslizantes	1,34	2	2,68	1,24	248,00
Pulsadores	1,88	3	5,64	1,73	519,00
<b>LCD y Zumbador</b>					
LCD	18,33	1	18,33	15,07	1507,00
Zumbador 5 V	0,78	1	0,78	0,71	71,00
<b>Conectores</b>					
Tira de pines	1,42	2	2,84	1,29	258,00
Conector 2 pines	0,95	1	0,95	0,87	87,00
Jack DC hembra	0,38	1	0,38	0,34	34,00
RJ-11	0,62	1	0,62	0,64	64,00
<b>Otros</b>					
Resistencias	0,02	11	0,22	0,01	11,00
Potenciómetro	0,04	1	0,04	0,03	3,00

Condensadores cerámicos	0,02	5	0,10	0,01	5,00
Condensadores electrolíticos	0,04	2	0,08	0,03	6,00
Transistores 2N3904	0,13	3	0,39	0,12	36,00
Diodo 1N4007	0,09	1	0,09	0,04	4,00
Diodos 1N4148	0,04	2	0,08	0,02	4,00
Diodo 1N5822	0,29	1	0,29	0,17	17,00
LED	0,10	1	0,10	0,06	6,00
<b>PCB</b>					
PCB	15,00	1	15,00	12,34	1234,00
<b>Soporte</b>					
Caja	1,59	1	1,59	1,32	132,00
<b>Total (€)</b>			<b>125,28</b>	<b>108,57</b>	<b>10857,00</b>

**Tabla 11.** Presupuesto final del prototipo y de 100 unidades

El presupuesto final del prototipo asciende a CIENTO VEINTICINCO EUROS CON VEINTIOCHO CÉNTIMOS, y el presupuesto de 100 unidades son DIEZ MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y SIETE EUROS.

El presupuesto total del proyecto no solo incluye lo descrito anteriormente sino también el material empleado para su construcción y la mano de obra.

El coste de la mano de obra es el correspondiente a 9 semanas de trabajo de un ingeniero con un sueldo de 1400 €/mes. Este tiempo es el correspondiente a las horas que equivalen los 12 créditos ECTS de este proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el importe total del desarrollo del presente proyecto.

Concepto	Importe (€)
Prototipo	125,28
Material	25,00
I.V.A. (21%)	31,56
<b>Total Prototipo</b>	<b>181,84</b>
Mano de obra	2800,00
Seguros sociales (30%)	840,00
<b>Total Mano de obra</b>	<b>3640,00</b>
<b>Presupuesto Total</b>	<b>3821,84</b>

**Tabla 12.** Presupuesto final del proyecto

El presupuesto final del proyecto asciende a TRES MIL OCHOCIENTOS VEINTIÚN EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

## 7. Conclusión

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un sistema autónomo que permita gestionar el acceso de personal a un área determinada. Esto va desde el diseño del circuito hasta la implementación física del mismo en un PCB, pasando por la selección de componentes que se emplean y la programación del microcontrolador.

Esto implica la implementación de varias disciplinas de la ingeniería vistas a lo largo del grado, sobre todo aquellas relacionadas con la electrónica. Todo esto conlleva una serie de retos e inconvenientes que se deben superar de forma autónoma y que nos permiten aprender de los errores cometidos.

En un principio, y siendo consciente de que este tipo de errores surgen a lo largo del desarrollo del prototipo, se decidió emplear un interruptor que permitiese emplear dos tipos distintos de comunicación entre el lector RFID y el microcontrolador. Así se podría emplear tanto la comunicación UART como I<sup>2</sup>C, y si una de estas fallase se tendría la otra para poder realizar la lectura de los tags.

Aun así, después de tomar esta medida con anterioridad previendo que esto pudiese suceder, resultó imposible la comunicación con el lector mediante UART e I<sup>2</sup>C. Desde el microcontrolador se enviaba correctamente la trama correspondiente para recibir la lectura de un tag pero no se recibía ninguna respuesta por parte de éste.

Después de varias semanas de pruebas e intentos por arreglar este problema, se decidió cambiar el lector RFID e implementar otro. Con este cambio se logró obtener la lectura de un tag, aprendiendo a buscar alternativas para solucionar los problemas que surgen.



Una vez que este problema se había solucionado, surgió uno nuevo a la hora de almacenar los tags en la memoria EEPROM del microcontrolador. Después de intentar por todos los medio arreglar este inconveniente y sabiendo que éste podía ser debido al propio microcontrolador, se decidió almacenar los códigos de identificación en la memoria Flash, en la cual no se tuvo ningún problema.

Así mismo, el desarrollo completo del prototipo permite tener un enfoque más práctico y distinto al teórico que se ha tenido hasta ahora en el grado, permitiendo aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de éste.

Por último, destacar la posibilidad de mejora que tiene el presente prototipo. Así, mediante la implementación de un reloj externo de tiempo real se podría llevar un registro de la hora de entrada y salida de los usuarios del sistema. Además se podrían incorporar memorias EEPROM externas con el objetivo de tener un registro que permita almacenar más usuarios.

## 8. Bibliografía

### **Tecnologías de Autoidentificación:**

- [1] <http://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2008/tesisJorgeAlvarado.pdf>
- [2] [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/901/1/Prototipo\\_Control\\_Acceso\\_Corporacion\\_Universitaria\\_Lasallista.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/901/1/Prototipo_Control_Acceso_Corporacion_Universitaria_Lasallista.pdf)
- [3] <http://sa.ua.es/es/tarjeta-universitaria/que-es-una-tarjeta-chip.html>
- [4] <https://es.wikipedia.org/wiki/RFID>

### **Identificación por Radiofrecuencia (RFID):**

- [5] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>
- [6] [https://es.wikipedia.org/wiki/Etiqueta\\_RFID](https://es.wikipedia.org/wiki/Etiqueta_RFID)
- [7] <http://www.actum.es/preguntas-frecuentes/tipos-de-tags>
- [8] <http://www.ecojoven.com/dos/03/RFID.html>
- [9] [https://es.wikipedia.org/?title=Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/?title=Espectro_electromagn%C3%A9tico)

## Figuras

**Figura 1.** Diagrama de bloques del proyecto.

**Figura 2.** Sistemas biométricos. <http://eju.tv/2009/04/que-son-los-sistemas-biometricos/>

**Figura 3.** Tarjetas magnéticas. <http://www.a3m.eu/es/lectores-de-tarjetas/lectores-y-grabadores-de-tarjetas-magneticas/lector-de-tarjetas-magneticas-minimag.html>

**Figura 4.** Tarjetas chip. <http://www.evolis.pro/es/tarjetas-plasticas-de-pvc/291-tarjeta-chip-infineon-sle5542.html>

**Figura 5.** Códigos de barras. <http://www.pcworld.com.mx/Articulos/28407.htm>

**Figura 6.** Memoria de contacto. <http://neteto1999.com/presta/home/97-llave-de-memoria-de-contacto.html>

**Figura 7.** Tarjetas RFID. <http://www.aussietimesheets.com.au/products/rfid-proximity-card>

**Figura 8.** Sistema RFID. [http://www.wavecomm.it/IT\\_RFID.htm](http://www.wavecomm.it/IT_RFID.htm)

**Figura 9.** Lector RFID. [http://www.rhydolabz.com/blog/?attachment\\_id=341](http://www.rhydolabz.com/blog/?attachment_id=341)

**Figura 10.** Estructura interna de un tag RFID.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 11.** Estructura interna de un tag activo.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 12.** Funcionamiento de un sistema RFID.  
<http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/Curiosid2/rc-98/rc-98.html>

**Figura 13.** Emisión de la señal de baja potencia del lector.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 14.** Introducción del tag en el campo magnético.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 15.** Comunicación entre un lector y un tag RFID.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 16.** Respuesta del tag. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 17.** Tag RFID LF. <http://tienda.bricogeek.com/modulos-rfid/478-llavero-rfid-azul-125khz.html>

**Figura 18.** Tag RFID HF. <http://www.rfidpoint.com/showroom-de-productos/tag-rfid-hf-de-avery-dennison/>

**Figura 19.** Tag RFID UHF. <http://www.therfidstore.eu/es/tags-rfid-uhf/1599-tag-rfid-uhf-smartrac-dogbone-paper-face-monza-4d.html>

**Figura 20.** Tag RFID 2,4 GHz. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 21.** Comunicación en los sistemas FDK, HDX y SEQ.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Figura 22.** Diagrama de bloques del prototipo.

**Figura 23.** Distribución de pines del PIC16F88. PIC16F88 Datasheet

**Figura 24.** Conexiones del microcontrolador PIC16F88.

**Figura 25.** Circuito de reset.

**Figura 26.** Distribución de pines del lector ID-12LA. ID-12LA Datasheet

**Figura 27.** Estructura de los datos de salida del lector (Formato ASCII). ID-12LA Datasheet

**Figura 28.** Comprobación de una lectura del lector ID-12LA. ID-12LA Datasheet

**Figura 29.** Conexión entre el lector y el microcontrolador.

**Figura 30.** Conexión entre los pulsadores y el microcontrolador.

**Figura 31.** Modos de conexión de un display LCD.  
[http://conectapic16f84alcd.blogspot.com.es/2009/11/desarrollo\\_30.html](http://conectapic16f84alcd.blogspot.com.es/2009/11/desarrollo_30.html)

**Figura 32.** Conexión entre el display LCD y el microcontrolador.

**Figura 33.** Conexión entre el zumbador y el microcontrolador.

**Figura 34.** Conexión entre la cerradura magnética y el microcontrolador.

**Figura 35.** Conector DC jack hembra.  
[http://shop.tkjelectronics.dk/product\\_info.php?products\\_id=39](http://shop.tkjelectronics.dk/product_info.php?products_id=39)

**Figura 36.** Circuito de alimentación.

**Figura 37.** Conector RJ-11. <http://www.shoptronica.com/conectores-de-senal/3016-conectores-clip-rj11-hembra.html>

**Figura 38.** Circuito de programación.

**Figura 39.** Interfaz de inicio de MPLAB IDE. Software MPLAB IDE

**Figura 40.** Interfaz de MPLAB IDE. Software MPLAB IDE

**Figura 41.** Diagrama de flujo del acceso al menú de configuración.

**Figura 42.** Diagrama de flujo del menú de configuración.

**Figura 43.** Diagrama de flujo para añadir un tag.

**Figura 44.** Diagrama de flujo para eliminar un tag.

**Figura 45.** Diagrama de flujo para cambiar el tag maestro.

**Figura 46.** Diagrama de flujo de la gestión de acceso.

**Figura 47.** Interfaz de inicio de DesignSpark PCB. Software DesignSpark PCB

**Figura 48.** Esquemático del diseño.

**Figura 49.** Interruptores en el PCB.

**Figura 50.** Conectores en el PCB.

**Figura 51.** Conector RJ-11 en el PCB.

**Figura 52.** Circuito de alimentación en el PCB.

**Figura 53.** Conexión de relé en el PCB.

**Figura 54.** Conexión del PIC16F88 en el PCB.

**Figura 55.** Conexión del zumbador y el display LCD en el PCB.

**Figura 56.** Plano 5 V capa superior.

**Figura 57.** Plano GND capa inferior.

**Figura 58.** Capa superior del PCB sin plano de alimentación (5 V).

**Figura 59.** Capa superior del PCB con plano de alimentación (5 V).

**Figura 60.** Capa inferior del PCB sin plano de tierra (GND).

**Figura 61.** Capa inferior del PCB con plano de tierra (GND).

**Figura 62.** Vista en 3D de la parte superior del PCB.

**Figura 63.** Vista en 3D de la parte inferior del PCB.

**Figura 64.** Vista superior e inferior del PCB montado y soldado.

## Tablas

**Tabla 1.** Tecnología de autoidentificación.

<http://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2008/tesisJorgeAlvarado.pdf>

**Tabla 2.** Espectro electromagnético.

[https://es.wikipedia.org/?title=Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/?title=Espectro_electromagn%C3%A9tico)

**Tabla 3.** Parámetros RFID en cada banda de frecuencias.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2660>

**Tabla 4.** Características generales del PIC16F88. PIC16F88 Datasheet

**Tabla 5.** Distribución de los dispositivos.

**Tabla 6.** Características generales del lector ID-12LA. ID-12LA Datasheet

**Tabla 7.** Descripción de los pines para la adquisición de datos en formato ASCII. ID-12LA Datasheet

**Tabla 8.** Descripción de pines del display LCD. LCD Datasheet

**Tabla 9.** Ejemplo de almacenamiento de un tag en la memoria Flash.

**Tabla 10.** Anchura de las pistas en función de su tipo.

**Tabla 11.** Presupuesto final del prototipo y de 100 unidades.

**Tabla 12.** Presupuesto final del proyecto.

## 9. Anexo

### Programa principal del prototipo:

---

```
#include <htc.h>
#include "flash.h"
#include "lcd.h"
#include "usart.h"

#define _XTAL_FREQ 4000000 //Oscilador Interno de 4MHZ
__CONFIG(WRT_OFF & WDTE_OFF & PWRTE_OFF & FOSC_INTOSCIO & LVP_OFF & DEBUG_OFF);

unsigned short Dir_Flash;
unsigned char RFID_Id[5],Id[10];
int Cont,i,j,k;

void RFID_Read();
void RFID_Mos();
unsigned char Reg_Loc();
unsigned char Reg_Cheq();
void Write_Reg();

void main(void){

    IRCF0=0;
    IRCF1=1;
    IRCF2=1;
    GIE=0;
    TRISB=0x01;
    RB3=0;
    RB7=1;
    __delay_ms(50);

    lcd_init();
    init_comms();

    while(1){
        Inicio:  if ((Reg_Loc()==0xFF) && (Dir_Flash==0x0920))
                    {lcd_clear();
                     lcd_goto(0x00);
                     lcd_puts("Introduzca la");
                     lcd_goto(0x40);
                     lcd_puts("Tag Master");
                     lcd_goto(0xFF);

                     RFID_Read();
                     RFID_Mos();

                     __delay_ms(3000);
```

```

Write_Reg();

lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("Tag Master");
lcd_goto(0x40);
lcd_puts("almacenada");
lcd_goto(0xFF);

for(i=0;i<2;i++)
    {RB3=1;
      __delay_ms(150);
      RB3=0;
      __delay_ms(150);}

__delay_ms(3000);}

else
{lcd_clear();
 lcd_goto(0x00);
 lcd_puts("Introduzca");
 lcd_goto(0x40);
 lcd_puts("su Tag");
 lcd_goto(0xFF);

RFID_Read();
RFID_Mos();

__delay_ms(3000);

if ((Reg_Cheq()==0xFF) && (Dir_Flash==0x0920))
    {j=0;
     k=0;
     lcd_clear();
     lcd_goto(0x00);
     lcd_puts("Menu:");
     lcd_goto(0x40);
     lcd_puts("Anadir Tag");
     lcd_goto(0xFF);

     while (j==0)
         {if (RB0==0)
             {k++;
              if (k>3)
                  k=0;

              switch(k)
                  {case 0:
                     lcd_clear();
                     lcd_goto(0x00);
                     lcd_puts("Menu:");
                     lcd_goto(0x40);
                     lcd_puts("Anadir Tag");
                     lcd_goto(0xFF);
                     break;

```

```

        case 1:
            lcd_clear();
            lcd_goto(0x00);
            lcd_puts("Menu:");
            lcd_goto(0x40);
            lcd_puts("Eliminar Tag");
            lcd_goto(0xFF);
            break;

        case 2:
            lcd_clear();
            lcd_goto(0x00);
            lcd_puts("Menu: Cambiar");
            lcd_goto(0x40);
            lcd_puts("Tag Master");
            lcd_goto(0xFF);
            break;

        case 3:
            lcd_clear();
            lcd_goto(0x00);
            lcd_puts("Menu:");
            lcd_goto(0x40);
            lcd_puts("Salir");
            lcd_goto(0xFF);
            break;

        default:
            break;}
    __delay_ms(400);
}

if (RA7==0)
{
    j=1;
    __delay_ms(400);

    if ((k==0) || (k==1) || (k==2))
    {
        if ((k==0) || (k==1))
        {
            lcd_clear();
            lcd_goto(0x00);
            lcd_puts("Introduzca");
            lcd_goto(0x40);
            lcd_puts("la Tag");
            lcd_goto(0xFF);}

            if (k==2)
            {
                lcd_clear();
                lcd_goto(0x00);
                lcd_puts("Introduzca la");
                lcd_goto(0x40);
                lcd_puts("nueva Tag Master");
                lcd_goto(0xFF);}

            RFID_Read();
            RFID_Mos();

            __delay_ms(3000);}
}

```



```

switch(k)
{case 0:
if ((Reg_Cheq()==0xFF) && (Dir_Flash==0x0920))
{lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("Tag no valida");
lcd_goto(0x40);
lcd_puts("(Master)");
lcd_goto(0xFF);

RB3=1;
__delay_ms(400);
RB3=0;

__delay_ms(3000);
goto Menu;}

if ((Reg_Cheq()==0xFF) && (Dir_Flash!=0x0920))
{lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("Tag no valida");
lcd_goto(0x40);
lcd_puts("(Almacenada)");
lcd_goto(0xFF);

RB3=1;
__delay_ms(400);
RB3=0;

__delay_ms(3000);
goto Menu;}

if (Reg_Cheq()==0x00)
{if (Reg_Loc()==0x00)
{lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("No hay espacio");
lcd_goto(0x40);
lcd_puts("en la memoria");
lcd_goto(0xFF);

RB3=1;
__delay_ms(400);
RB3=0;

__delay_ms(3000);
goto Menu;}
else
{Write_Reg();

lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("Tag almacenada");
lcd_goto(0x40);
lcd_puts("correctamente");
lcd_goto(0xFF);
}
}

```

```

        for(i=0;i<2;i++)
        {RB3=1;
          __delay_ms(150);
          RB3=0;
          __delay_ms(150);}

        __delay_ms(3000);
        goto Menu;}
    }
break;

case 1:
if ((Reg_Cheq()==0xFF) && (Dir_Flash==0x0920))
{lcd_clear();
 lcd_goto(0x00);
 lcd_puts("Tag no valida");
 lcd_goto(0x40);
 lcd_puts("(Master)");
 lcd_goto(0xFF);

    RB3=1;
    __delay_ms(400);
    RB3=0;

    __delay_ms(3000);
    goto Menu;}

if (Reg_Cheq()==0x00)
{lcd_clear();
 lcd_goto(0x00);
 lcd_puts("Tag no valida");
 lcd_goto(0x40);
 lcd_puts("(No almacenada)");
 lcd_goto(0xFF);

    RB3=1;
    __delay_ms(400);
    RB3=0;

    __delay_ms(3000);
    goto Menu;}

if ((Reg_Cheq()==0xFF) && (Dir_Flash!=0x0920))
{erase_flash(Dir_Flash);
 lcd_clear();
 lcd_goto(0x00);
 lcd_puts("Tag eliminada");
 lcd_goto(0x40);
 lcd_puts("correctamente");
 lcd_goto(0xFF);

    for(i=0;i<2;i++)
    {RB3=1;
      __delay_ms(150);
      RB3=0;
      __delay_ms(150);}

```

```

        __delay_ms(3000);
        goto Menu;}

    break;

    case 2:
    if (Reg_Cheq()==0xFF)
        erase_flash(Dir_Flash);
        Dir_Flash=0x0920;
        Write_Reg();

        lcd_clear();
        lcd_goto(0x00);
        lcd_puts("Tag Master");
        lcd_goto(0x40);
        lcd_puts("almacenada");
        lcd_goto(0xFF);

        for(i=0;i<2;i++)
            {RB3=1;
            __delay_ms(150);
            RB3=0;
            __delay_ms(150);}

        __delay_ms(3000);
        goto Menu;

    break;

    case 3:
        goto Inicio;

    break;

    default:
    break;}
    }

}
else
{if (Reg_Cheq()==0xFF)
    {lcd_clear();
    lcd_goto(0x00);
    lcd_puts("Acceso");
    lcd_goto(0x40);
    lcd_puts("permitido");
    lcd_goto(0xFF);

    RB7=0;
    for(i=0;i<2;i++)
        {RB3=1;
        __delay_ms(150);
        RB3=0;
        __delay_ms(150);}
    __delay_ms(4000);
    RB7=1;}

else
{lcd_clear();
lcd_goto(0x00);
lcd_puts("Acceso");

```

```

        lcd_goto(0x40);
        lcd_puts("denegado");
        lcd_goto(0xFF);

        for(i=0;i<6;i++)
            {RB3=1;
              __delay_ms(100);
              RB3=0;
              __delay_ms(50);}

        __delay_ms(3000);}
    }
}

void RFID_Read(){
    unsigned char RFID_Tag[16],Temp;
    unsigned long Temp2,Tag_Id;
    int RFID_Cont;

    for(RFID_Cont=0;RFID_Cont<16;RFID_Cont++)
        {RFID_Tag[RFID_Cont]=getch();}

    RFID_Cont=1;
    i=0;
    while (RFID_Cont<11)
        {Temp=RFID_Tag[RFID_Cont];
          if (Temp>57)
              Temp=Temp-55;
          else
              Temp=Temp-48;
          Temp=Temp<<4;
          RFID_Id[i]=Temp;
          Temp=RFID_Tag[RFID_Cont+1];
          if (Temp>57)
              Temp=Temp-55;
          else
              Temp=Temp-48;
          Temp=Temp+RFID_Id[i];
          RFID_Id[i]=Temp;
          RFID_Cont=RFID_Cont+2;
          i=i++;}

    Tag_Id=0;
    for(i=1;i<5;i++)
        {Temp2=RFID_Id[i];
          Temp2=Temp2<<((4-i)*8);
          Tag_Id=Tag_Id+Temp2;}

    Temp2=Tag_Id;
    for(i=0;i<10;i++)
        {ld[9-i]=Temp2%10;
          Temp2=Temp2/10;}

    for(i=0;i<10;i++)

```

```

        {if (ld[i]>9)
            ld[i]=ld[i]+55;
        else
            ld[i]=ld[i]+48;}
    }

void RFID_Mos(){
    lcd_clear();
    lcd_goto(0x00);
    lcd_puts("No. Tag:");
    lcd_goto(0x40);
    for(i=0;i<10;i++)
        {lcd_putchar(ld[i]);}
    lcd_goto(0xFF);

    RB3=1;
    __delay_ms(400);
    RB3=0;
}

unsigned char Reg_Loc(){
    Dir_Flash=0x0920;
Reg_Loc_1:    if(read_flash(Dir_Flash)!=0x0A)
                return (0xFF);

                Dir_Flash=Dir_Flash+32;
                if(Dir_Flash>=0x0A60)
                    Dir_Flash=0x0920;
                if(Dir_Flash==0x0920)
                    return (0x00);
                else
                    goto Reg_Loc_1;
}

unsigned char Reg_Cheq(){
    unsigned short Temp;
    Dir_Flash=0x0920;

Reg_Cheq_1:    Temp=Dir_Flash;
                if(read_flash(Dir_Flash)!=0x0A)
                    goto Reg_Cheq_3;
                else
                    {Cont=5;
                     i=0;
                     Dir_Flash++;

Reg_Cheq_2:    if(read_flash(Dir_Flash)!=RFID_Id[i])
                    goto Reg_Cheq_3;
                else
                    {Dir_Flash++;
                     i++;
                     Cont--;
                     if(Cont!=0)
                         goto Reg_Cheq_2;
                     else
                         {Dir_Flash=Temp;
                          return (0xFF);}
                    }
                }
}

```

```

    }

Reg_Cheq_3:    Dir_Flash=Temp+32;
               if(Dir_Flash>=0x0A60)
                 Dir_Flash=0x0920;
               if(Dir_Flash!=0x0920)
                 goto Reg_Cheq_1;
               else
                 return(0x00);}

}

void Write_Reg(){
    erase_flash(Dir_Flash);
    write_flash(Dir_Flash,RFID_Id);
}

```

---

### **flash.c:**

---

```

#include <htc.h>
#include "flash.h"

void erase_flash(unsigned short address)
{EEADR=address;
 EEADRH=address>>8;
 EEPGD=1;
 WREN=1;
 FREE=1;
 EECON2=0x55;
 EECON2=0xAA;
 WR=1;
 NOP();
 NOP();
 FREE=0;
 WREN=0;
}

void write_flash(unsigned short address, unsigned char data[])
{int i;

 EEADR=address;
 EEADRH=address>>8;
 EEPGD=1;
 WREN=1;
 FREE=0;
 EEDATA=0x0A;
 EEDATH=0x00;
 EECON2=0x55;
 EECON2=0xAA;
 WR=1;
 NOP();
 NOP();
 for(i=0;i<3;i++)
 {EEADR=EEADR++;
  EEDATA=data[i];

```

```

        EEDATH=0x00;
        EECON2=0x55;
        EECON2=0xAA;
        WR=1;
        NOP();
        NOP();}
WREN=0;
EEPGD=1;
WREN=1;
FREE=0;
for(i=3;i<5;i++)
    {EEADR=EEADR++;
    EEDATA=data[i];
    EEDATH=0x00;
    EECON2=0x55;
    EECON2=0xAA;
    WR=1;
    NOP();
    NOP();}
for(i=0;i<2;i++)
    {EEADR=EEADR++;
    EEDATA=0xFF;
    EEDATH=0x3F;
    EECON2=0x55;
    EECON2=0xAA;
    WR=1;
    NOP();
    NOP();}
WREN=0;
}

unsigned char read_flash(unsigned short address)
{EEADR=address;
EEADRH=address>>8;
EEPGD=1;
RD=1;
NOP();
NOP();
return EEDATA;
}

```

---

### lcd.c:

---

```

#ifndef _XTAL_FREQ
// Unless specified elsewhere, 4MHz system frequency is assumed
#define _XTAL_FREQ 4000000
#endif

#include <htc.h>
#include "lcd.h"

// #define LCD_E PORTD, 6; LCD E clock >> changed from PORTA, 1
//

```

```

//#define LCD_RW PORTD, 5; LCD read/write line >>changed from; PORTA, 2
//
//#define LCD_RS PORTD, 4; LCD register select line>>changed from PortA, 3
//
//In addition to the above, user also need to switch on transistor using the PORTD
pin 7 for powering up the LCD module in the code.

//#define LCD_RS RA3
#define LCD_RS RA4
//#define LCD_EN RA1
#define LCD_EN RA6

#define LCD_DATA PORTA

#define LCD_STROBE() ((LCD_EN = 1),(LCD_EN=0))

/* write a byte to the LCD in 4 bit mode */

void
lcd_write(unsigned char c)
{
    __delay_us(40);
    LCD_DATA = (LCD_DATA & 0xF0) | ( ( c >> 4 ) & 0x0F );
    LCD_STROBE();
    LCD_DATA = (LCD_DATA & 0xF0) | ( c & 0x0F );
    LCD_STROBE();
}

/*
 * Clear and home the LCD
 */

void
lcd_clear(void)
{
    LCD_RS = 0;
    lcd_write(0x1);
    __delay_ms(2);
}

/* write a string of chars to the LCD */

void
lcd_puts(const char * s)
{
    LCD_RS = 1; // write characters
    while(*s)
        lcd_write(*s++);
}

/* write one character to the LCD */

void
lcd_putchar(char c)
{
    LCD_RS = 1; // write characters
    lcd_write( c );}

```



```

void
lcd_goto(unsigned char pos)
{   LCD_RS = 0;
    lcd_write(0x80+pos);}

/* initialise the LCD - put into 4 bit mode */
void
lcd_init()
{
    char init_value;

    ANSEL = 0x00; // Disable analog pins on PORTA

    init_value = 0x3;
    TRISA=0x80;

    LCD_RS = 0;
    LCD_EN = 0;

    __delay_ms(15);      // wait 15mSec after power applied,
    LCD_DATA = (LCD_DATA & 0xF0) | init_value;
    LCD_STROBE();
    __delay_ms(5);
    LCD_STROBE();
    __delay_us(200);
    LCD_STROBE();
    __delay_us(200);
    LCD_DATA = (LCD_DATA & 0xF0) | 2; // Four bit mode
    LCD_STROBE();

    lcd_write(0x28); // Set interface length
    lcd_write(0xF); // Display On, Cursor On, Cursor Blink
    lcd_clear();    // Clear screen
    lcd_write(0x6); // Set entry Mode
}

```

---

## **usart.c:**

---

```

#include <htc.h>
#include <stdio.h>
#include "usart.h"

void
putch(unsigned char byte)
{   /* output one byte */
    while(!TXIF) /* set when register is empty */
        continue;
    TXREG = byte;}

unsigned char
getch() {
    /* retrieve one byte */
    while(!RCIF) /* set when register is not empty */
        continue;
}

```

```

    return RCREG;
}

unsigned char
getche(void)
{unsigned char c;
  putchar(c = getch());
  return c;}

```

---

## **usart.h:**

---

```

#ifndef _SERIAL_H_
#define _SERIAL_H_

#define BAUD 9600
#define FOSC 4000000L
#define NINE 0 /* Use 9bit communication? FALSE=8bit */

#define DIVIDER ((int)(FOSC/(16UL * BAUD) - 1))
#define HIGH_SPEED 1

#if NINE == 1
#define NINE_BITS 0x40
#else
#define NINE_BITS 0
#endif

#if HIGH_SPEED == 1
#define SPEED 0x4
#else
#define SPEED 0
#endif

#if defined(_16F87) || defined(_16F88)
#define RX_PIN TRISB2
#define TX_PIN TRISB5
#else
#define RX_PIN TRISC7
#define TX_PIN TRISC6
#endif

/* Serial initialization */
#define init_comms()\
    RX_PIN = 1; \
    TX_PIN = 1; \
    SPBRG = DIVIDER; \
    RCSTA = (NINE_BITS | 0x90); \
    TXSTA = (SPEED | NINE_BITS | 0x20)

void putchar(unsigned char);
unsigned char getch(void);
unsigned char getche(void);

#endif

```

---